Phys. 9. J. B. Biot.

40 62

<366070912000 12

<366070912000 12

Bayer. Staatsbibliothek

Lehrbuch

der

Experimental-Physik.

Zweiter Band.

Lehrbuch
der
Experimental-Physik
oder
Erfahrungs-Naturlehre
von

J. B. Biot.

Mitgliede der Akademie der Wissenschaften, adjungirtem Astronomen am Bureau des Longitudes, Professor der mathematischen Physik am Collége de France und der Experimentalphysik an der Facultät der Wissenschaften zu Paris; Inspector der Militärschulen; vieler gelehrten Gesellschaften Mitglied.

Qui tractaverunt scientias, aut empirici aut dogmatici fuerunt. Empirici, formicae more, congerunt tantum et utuntur; rationales, aranearum more, telas ex se conficiunt. Apis vero ratio media est, quae materiam ex floribus horti et agri elicit, sed tamen eam, propria facultate, vertit ac digerit.

Bacon, Nov. Org. Lib. I. XCIV.

Durch Beschluß der Commission für den öffentlichen Unterricht vom 22. Febr. 1817 als Lehrbuch in den öffentlichen Lehranstalten Frankreichs eingeführt.

Dritte Auflage.

Uebersetzt
von

M. Gustav Theodor Fechner, med. Bacc.
akademischem Docenten zu Leipzig.

Zweiter Band.
Mit zwei Kupfertafeln.

Leipzig, 1824.
Bei Leopold Voß.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorwort des Uebersetzers

zum zweiten Bande.

Vorliegender zweiter Band hat mehrere Zusätze erhalten, in denen ich kein Verdienst suche, da es nur entlehntes Eigenthum ist, über die ich vielmehr gewissermaßen eine Rechtfertigung schuldig zu seyn glaube; denn Biot's in sich abgerundetes Werk bedarf eigentlich zu dem Zweck, zu welchem er es schrieb, keiner solchen Nachhülfe. Er giebt es seinen Landsleuten als Lehrbuch, und es ist als solches in den französischen Schulen eingeführt; ein Lehrbuch aber soll die ganze Form der Wissenschaft darstellen, und überläßt es dem Lehrer größtentheils, in diese den Stoff hineinzutragen. In Deutschland indeß, wo dies Werk weniger als Schulbuch, meist als ein Werk zur Selbstbelehrung gesucht und benutzt wird, von dem man in manchen Stücken etwas mehr Ausführlichkeit erwartet, glaubte ich einige Zusätze, die etwas mehr vom Stoff der Wissenschaft hineinzögen, nicht überflüssig, namentlich solche, die die Brücken zu verwandten Zweigen schlügen, indem durch solche Verbindung eigentlich die Physik erst wahrhaft fruchtbar wird. Vorzüglich habe ich in der Tonlehre Chladni's

klassisches Werk hierüber, und in der Elektricitätslehre des Engländers Singer Monographie über diesen Gegenstand, nach der, mit Zusätzen versehenen, deutschen Uebersetzung von Müller, benutzt; Werke, deren Studium überhaupt zur weitern Einsicht in diese Zweige der Physik empfohlen zu werden verdient, und die ihrer Allgemeinfaßlichkeit wegen selbst solchen empfohlen werden können, welche mathematische Untersuchungen scheuen.

Inhaltsverzeichniß

zum zweiten Band.

Drittes Buch.

Von der Akustik.

Seite

Erstes Capitel. Von der Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles 1
Zweites Capitel. Von der Wahrnehmung und Vergleichung der anhaltenden Töne 13
Drittes Capitel. Schwingungen elastischer Saiten . . . 18
Viertes Capitel. Von den Vorzeichnungen und der Temperatur 32
Zusätze über die Herleitung der Akkorde, Tonleitern und Tonarten 42
Fünftes Capitel. Allgemeine Betrachtungen über die Schwingungen der festen Körper 49
Sechstes Capitel. Schwingungen fester Stäbe, sowohl gerader, als gekrümmter 53
Siebentes Capitel. Schwingungen der starren und biegsamen Körper bei Erschütterung nach allen ihren Dimensionen . . 62
Zusätze über die Klangfiguren 66
Achtes Capitel. Von den Blasinstrumenten 76
Von Röhren mit ungleichem Durchmesser 97
Von der Art die Flötenwerke zu stimmen 99
Von den Rohrwerken 100
Neuntes Capitel. Ueber die Mittheilung der Schwingungsbewegungen 106
Zehntes Capitel. Werkzeuge des Gehörs und der Stimme 119
Vom Gehör 119
Von der Stimme 129

Viertes Buch.

Von der Elektricität.

Erstes Capitel. Allgemeine Erscheinungen der elektrischen Anziehung und Abstoßung; Unterscheidung zweier Arten von Elektricität 137
Zweites Capitel. Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstoßung 150
Drittes Capitel. Von den Gesetzen, nach welchen elektrisirten Körpern durch die Berührung der Luft und die unvollkommen isolirenden Träger die Elektricität entzogen wird . . 159
Viertes Capitel. Von der Art, wie sich die Elektricität in den isolirten Leitern ins Gleichgewicht setzt 168

Seite

Fünftes Capitel. Von den gebundnen Elektricitäten und ihrer Trennung durch Wirkung in die Ferne 178
Sechstes Capitel. Theorie der Bewegungen der elektrisirten Körper 198
Siebentes Capitel. Von der besten Einrichtung der Elektrisirmaschinen und den dazu gehörigen Conductoren . . . 207
Achtes Capitel. Von den Elektroskopen 215
Neuntes Capitel. Vom Verschwinden der Elektricität durch Binden derselben 220
Der Condensator 220
Der Elektrophor 230
Die Leydner Flasche 234
Die elektrischen Batterieen 238
Zehntes Capitel. Von den elektrischen Säulen und den Erscheinungen, welche die, durch Wärme elektrisirten, Krystalle darbieten 240
Eilftes Capitel. Mechanische und chemische Wirkungen der Elektricität 244
Zusätze über die mechanischen und chemischen Wirkungen der Elektricität 247
Zwölftes Capitel. Von der atmosphärischen Elektricität und von den Blitzableitern 252
Zusätze über die atmosphärische Elektricität 264
Dreizehntes Capitel. Vom elektrischen Lichte 268
Vierzehntes Capitel. Von den verschiedenen Erregungsarten der Elektricität 272
Funfzehntes Capitel. Von der Erregung der Elektricität durch bloße Berührung 277
Sechzehntes Capitel. Theorie des Voltaischen Apparats, unter der Voraussetzung, daß die Leitung darin vollkommen sey 290
Siebzehntes Capitel. Chemische Wirkungen des Voltaischen Apparats 299
Achtzehntes Capitel. Untersuchung der Veränderungen, welche im Voltaischen Apparate durch seine Reaction auf sich selbst hervorgebracht werden. Daraus hervorgehende Modifikationen seines elektrischen Zustandes 322
Neunzehntes Capitel. Von den secundären Säulen . . 335
Zwanzigstes Capitel. Ueber den ungleichen Widerstand, den die beiden Elektricitäten, wenn sie sehr schwach sind, beim Hindurchgehen durch verschiedne Körper, erfahren 340
Zusätze über die Umstände, nach welchen sich das Leitungsvermögen der, die Kette schließenden, Körper richtet 343
Zusätze über die Verbindung der Elektricitätslehre mit der Physiologie 348

Drittes Buch.

Von der Akustik.

Erstes Capitel.

Von der Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles.

In den frühern Capiteln haben wir gesehen, daß die Theilchen der elastischen Körper, wenn sie momentan aus ihrer natürlichen Lage entfernt werden, durch eine Reihe isochronischer Schwingungen dahin zurückkehren. Indem diese schwingenden Bewegungen sich der Luft, welche ebenfalls ein zusammendrückbarer und elastischer Körper ist, mittheilen, rufen sie darin abwechselnde Verdichtungen und Ausdehnungen hervor, die zuerst in den Luftschichten, welche den, in Schwingung versetzten, Körper zunächst umgeben, eintreten, sich aber von da in die Ferne durch die ganze Luftmasse fortpflanzen, eben so wie die Wellen, die ein, ins Wasser geworfener, Stein darin hervorruft, sich als Kreise um den Mittelpunct der Erschütterung weiter verbreiten. Wenn diese abwechselnden und periodischen Veränderungen in der Dichtigkeit der Luft hinlänglich rasch auf einander folgen, so erregen sie im Gehörorgan die Empfindung, welche man Schall (son, sonus) nennt; und auf der größern oder geringern Schnelligkeit, mit der sie sich folgen, beruht der ganze Unterschied der hohen oder tiefen Töne *), den man hinsichtlich der besondern Arten des Schalls macht. Unserm, einmal angenommenen, Gange gemäß, werden wir auf dem Erfahrungswege die verschiednen Eigenschaften, die wir so eben andeuteten, festzustellen suchen, obgleich, im Grunde genommen, die meisten derselben sich schon als nothwendige Folgerungen aus dem ergeben, was uns die Erfahrung über die Schwingungen der elastischen Körper und über die physische Beschaffenheit der Luft gelehrt hat.

*) Man unterscheidet Ton als die besondre Art des Schalls, welcher eine bestimmte Höhe oder Tiefe hat; indem nicht jedem Schall eine solche zukommt. Die Sprache unterscheidet verschiedne Arten des Schalls ohne Tonhöhe, als Rauschen, Zischen, Schnarren, Brausen u. s. w. Der Knall besteht in einem einzigen Drucke der, den Schall fortpflanzenden, Lufttheilchen gegen das Ohr.

Zuvörderst nun läßt sich ohne Schwierigkeit darthun, daß die festen Körper, wenn sie so erschüttert werden, daß sie einen deutlichen Schall hören lassen, in sehr schnelle Schwingungsbewegung gerathen, denn berührt man sie während des Schalles sanft mit dem Finger oder der Schneide einer kleinen Metallplatte, so fühlt man ganz deutlich eine Menge von Pulsationen oder Schlägen, die sich mit ausnehmender Schnelligkeit folgen. Dieser Versuch läßt sich z. B. leicht mit einer Glocke anstellen, die man schlägt, oder mit einer gespannten Metallsaite, die man anzieht und wieder losläßt, so daß sie einen Ton giebt. Um darzuthun, daß der Ton wirklich eine Wirkung dieser Schwingungen, wenn sie einen gewissen Grad der Schnelligkeit erlangt haben, sey, braucht man sie sich anfangs nur ganz langsam folgen zu lassen, indem man die Saite durch ein ganz schwaches Gewicht spannt; alsdann lassen sich die Excursionen, die die Saite macht, zählen, allein es wird kein vernehmlicher Ton dadurch hervorgebracht werden. Damit dies geschehe, muß man die Saite successiv durch ein stärkeres Gewicht spannen; je stärker es genommen wird, bei gleichbleibender Länge der Saite, um so höhere Töne werden erfolgen: zugleich wird die Zahl der Schwingungen, welche die Saite macht, so zunehmen, daß sie das Auge nicht mehr zu verfolgen vermag. Die Rechnung indeß wird uns jetzt zu Hülfe kommen, indem man durch sie die Geschwindigkeit der Schwingungen zu bestimmen vermag, wenn die Länge der Saite, ihr Gewicht, und das Gewicht, durch welches sie gespannt wird, gegeben sind. Man findet solchergestalt, daß die Töne, welche die Saite giebt, aufhören, selbst für das schärfste Ohr noch vernehmlich zu seyn, wenn sie in der Secunde weniger, als 32 Schwingungen macht, in welchem Fall sie den nämlichen Ton als eine, an ihrem Ende offene, Orgelpfeife von 32 Fuß Länge hervorbringt. Diese Gränze der noch vernehmlichen Töne, d. h. solcher, die sich noch musikalisch (ihrer Höhe und Tiefe nach) vergleichen lassen, kann übrigens nur näherungsweise angegeben werden, und läßt keine scharfe Bestimmung zu.

Nachdem nun auf diese Weise dargethan ist, daß der Ton seinen Ursprung den schnell aufeinanderfolgenden Schwingungen elastischer Körper verdankt, muß gezeigt werden, daß seine Fortpflanzung durch die Luft vermittelt wird, wenigstens wenn diese den einzigen Zwischenkörper zwischen dem tönenden Körper und dem Gehörorgan ausmacht. Dies läßt sich ohne Schwierigkeit nachweisen. Man braucht nur eine kleine Glocke in einem gläsernen Ballon aufzuhängen, und aufzumerken, ob man sie noch tönen hört, wenn sie, nachdem der Ballon luftleer gemacht worden, in Bewegung gesetzt wird. Zur Genauigkeit des Versuchs ist jedoch hiebei erforderlich, die Glocke mittelst

einer weichen Substanz aufzuhängen, welche ihre Schwingungsbewegungen gar nicht oder doch nur sehr gedämpft, zum Ballon selbst fortzupflanzen vermag. Kein Stoff eignet sich hiezu besser, als einige mit einander verbundene, nicht zusammengedrehte, Hanffäden. Schüttelt man den Ballon, so lange er noch mit Luft angefüllt ist, so hört man den Ton der Glocke; pumpt man aber die Luft mittelst der Luftpumpe aus, und schraubt dann den Ballon von derselben ab, so kann man die Glocke schütteln und zum Erzittern bringen, so sehr man will, man wird keinen Ton mehr vernehmen: so wie man aber wieder etwas Luft in die Glocke treten läßt, erscheint auch der Ton wieder, anfangs nur ganz schwach, aber an Stärke immer zunehmend, je mehr Luft eintritt. Alle andern elastischen Flüssigkeiten können eben so gut, als die atmosphärische Luft, zur Fortpflanzung des Schalls dienen, wie sich ergiebt, wenn man den, zuvor luftleer gemachten, Ballon successiv damit anfüllt. Selbst die Dünste von Wasser, Aether, Alkohol pflanzen den Schall fort, wie ich ausgemittelt habe, indem ich in den Ballon die Flüssigkeiten, aus denen sie sich entwickeln konnten, brachte: was sich leicht mittelst eines doppelten, am Ballon, Fig. 1., angebrachten, Hahnes bewerkstelligen läßt. Um daher in aller Schärfe den Beweis zu führen, daß kein Schall im leeren Raume entstehe, muß man zuvor im Ballon einige Stücken kaustischen Kalis befestigen, um die, etwa darin zurückgebliebenen, Wasserdünste einzusaugen, welche den Schall noch auf vernehmliche Weise, obwohl wegen ihrer geringen Dichtigkeit ganz schwach, fortzupflanzen vermöchten.

Der Schall vermag sich nicht allein durch elastische, sondern auch durch tropfbare Flüssigkeiten fortzupflanzen. Schlägt man zwei Steine unter Wasser in einem Teich zusammen, so hört man das Geräusch davon selbst in sehr großen Entfernungen, wenn man den Kopf unter Wasser taucht. Wenigstens versichert Franklin, den Schall auf diese Weise unter Wasser eine halbe englische Meile weit gehört zu haben *).

---

*) In dem XLVIIIsten Bande von Gilb. Annalen, S. 66 befindet sich eine Abhandlung von Munke, über die Fortpflanzung des Schalles durch Wasser. Es wird bemerkt, daß die Fortpflanzung des Schalles durch Wasser nicht, wie bei expansibeln Flüssigkeiten, als eine Function der Elasticität anzusehen ist, sondern vielmehr als ein Stoß, den ein Theilchen dem andern mittheilt. Aus seinen Versuchen erhellt, daß das Wasser den Schall ungleich stärker als die Luft, und eben so stark, als feste Körper, leitet. Die vorzüglichste Schwächung bei einem, in der Luft erregten, Schalle kommt von dem Wechsel heterogener Medien her, besonders bei dem Uebergange aus einem dünnen Mittel in ein dichteres. Auch Quecksilber leitet den Schall, und zwar noch stärker, als Wasser.

(Chladn. neue Beitr. zur Akustik, S. 84).

Endlich pflanzt sich der Schall auch durch die festen Körper fort. Der Minengräber hört beim Ausgraben seines Ganges die Schläge des entgegenarbeitenden Minengräbers und urtheilt danach von der Richtung, die er nimmt. Stellt man sich an das Ende einer langen Reihe von Metallröhren, wozu die Wasserleitungen Gelegenheit geben, so hört man ganz deutlich die Hammerschläge, die am andern Ende geschehen; ja man unterscheidet ganz bestimmt einen doppelten Schall, einen schnellen, der durchs Metall fortgepflanzt wird, und einen langsamen, durch die Luft fortgepflanzten. Weiterhin werden wir die Geschwindigkeiten dieser beiden Fortpflanzungsarten mit einander vergleichen.

Jetzt müssen wir näher erörtern, wie die, durch die Schwingungen eines schallenden Körpers in den umgebenden Luftmoleculen hervorgebrachten, Erschütterungen von ihm aus progressiv sich bis zum Gehörorgan fortpflanzen können; und weil die Fortdauer der Schwingungen keine andre Wirkung hat, als diese Fortpflanzung stetig und dauerhaft zu machen, so erhellt, daß, um die Erscheinung in ihrer größten Einfachheit zu betrachten, man zuvörderst untersuchen müsse, auf welche Art die Fortpflanzung einer augenblicklichen Erschütterung, wie sie z. B. durch einen Kanonen- oder Pistolenschuß hervorgebracht wird, geschehen müsse. Um von einer bestimmten Vorstellung auszugehen, nehme man an, die Explosion des Gewehrs geschehe in einer kugelförmigen Luftmasse. Im Augenblick, wo sie Statt hat, werden die, in dieser Kugel enthaltenen, Molecule stark gegen die benachbarten getrieben werden. Da diese ihnen aber einen Widerstand entgegensetzen, der zu überwinden ist, so müssen die ersten, während sie aus der Stelle getrieben werden, zugleich eine Zusammendrückung erfahren. Die Molecule, welche zunächst um sie liegen, geben nun zum Theil ihrer Kraftäußerung nach, weichen ebenfalls aus ihrer Stelle und werden zusammengedrückt, aber in geringerm Verhältniß, bis endlich Zusammendrückung und Bewegung in einer gewissen Entfernung vom Mittelpunct der Explosion unmerklich werden. Dies ist der Vorgang, der im ersten Augenblick Statt hat. Wenn aber die Ursach der Explosion aufgehört hat, so dehnen sich die Molecule, welche zusammengedrückt worden waren, vermöge ihrer natürlichen Elasticität wieder nach allen Richtungen aus, und stoßen die Hindernisse, die sich

---

Wenn man eine Glocke oder ein klingendes Gefäß mit Wasser anfüllt, oder wenn man einen klingenden Körper unter Wasser taucht, so erhält man tiefere Töne, als wenn die Schwingungen in der Luft geschehen. Es werden nämlich die Schwingungen des klingenden Körpers durch den Widerstand des Wassers, als einer dichtern Flüssigkeit, verzögert, eben so wie dieses auch bei einem Pendel geschieht (Ebend. §. 221.).

dieser Bewegung widersetzen, allenthalben zurück. Sie stoßen also auch die benachbarten Molecule zurück, welche im ersten Augenblick nicht erschüttert worden waren, und drücken sie für ihr Theil zusammen. Der Erfolg ist also bei diesen der nämliche, als er anfangs bei den ersten Moleculen gewesen war; und vermöge dieser abwechselnden Ausdehnungen und Zusammenziehungen pflanzt sich die wellenförmige Bewegung successiv durch die ganze Ausdehnung der Luftmasse fort, eben wie sich ein augenblicklicher Stoß durch eine Reihe einander berührender Kugeln fortpflanzen würde.

Um zu einer genauen Bestimmung der besondern Umstände dieser Fortpflanzung zu gelangen, muß man in einem Punct der Atmosphäre eine plötzliche Explosion hervorrufen, und die Zeiträume messen, nach welchen der, dadurch erregte, Schall in einer und derselben Horizontalschicht zu verschiednen Entfernungen gelangt. Dies hat keine Schwierigkeit, wenn mit der Explosion zu gleicher Zeit ein Licht hervorgebracht wird, welches von dem Orte aus, an dem der Beobachter steht, sichtbar ist; denn die Fortpflanzung des Lichts geschieht so schnell, daß es in allen Entfernungen, in denen wir auf unsrer Erde Versuche anstellen können, in dem nämlichen Augenblicke, wo es erzeugt wird, auch von unserm Sinne wahrgenommen zu werden scheint. Daher läßt sich der physische Augenblick, in dem wir das Licht erblicken, für den nehmen, in welchem die Explosion Statt gefunden hat. Es wird dann blos noch nöthig seyn, mit einer Secundenuhr den Zeitraum zu messen, der zwischen dem Erscheinen des Lichts und dem Augenblick, in welchem der Schall vernommen wird, verfließt.

Auf diese Weise bestimmten im J. 1738 die Mitglieder der Akademie der Wissenschaften die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall fortpflanzt, zwischen Montlhery und Montmartre, auf einer Weite von ungefähr 29000^{m} *). Das Signal wurde durch Kanonenschüsse gegeben. Sie fanden auf diese Weise, daß die Fortpflanzung des Schalls gleichförmig geschieht. Für den absoluten Werth dieser Geschwindigkeit ergab sich aus zahlreichen Versuchen 337^{m},18 (nahe 1028 par. Fuß) in der Secunde. Sie änderte sich nicht merklich ab, das Wetter mochte trübe oder heiter, hell oder nebelig seyn, so lange nur die Luft ruhig blieb. War sie aber durch Wind bewegt, so wurde die Fort-

*) Ueber die Schallversuche der Pariser Akademiker s. Bemerkungen von Gilbert in dessen Annalen der Phys. XLIV. S. 177 und von Benzenberg; ebend. XLVI. S. 315. Ueber eigne Versuche von Benzenberg s. ebend. XXXV. 4. I, XXXIX. S. 136, XLII. 1, die neuesten Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls hat Goldingham zu Madras in Ostindien angestellt; sie sind im ersten Theile der philos. Transact. für 1823 enthalten.

pflanzungsgeschwindigkeit des Schalls, je nachdem der Wind ihr günstig oder entgegen war, um den ganzen Theil der Geschwindigkeit des Windes vermehrt oder vermindert, den die Zerlegung derselben nach der, den Schall fortleitenden, Linie ergab.

Zufolge dieser physischen Analyse der Erscheinung kann man in der Bewegung und den Verdichtungen, welche beim Knall in jedem Augenblick in der Luftmasse Statt finden, nichts anders sehen, als das Zurückprallen (répercussion) der Bewegung und der Verdichtungen, welche den ersten Theilchen, auf welche die Explosion unmittelbar gewirkt hat, eingepflanzt wurden; und da in einer freien Atmosphäre die wellenförmige Bewegung sich in dem Maße, als sie sich ausbreitet, zugleich einer größern Menge Theilchen mittheilt, so müssen die Bewegungen und momentanen Veränderungen der Dichtigkeit in dem Maße, als sie sich vom Mittelpunct der Explosion mehr entfernen, immer schwächer werden. Auch bemerkt man, daß in der freien Luft der Schall um so schwächer wird, je weiter man sich von dem Orte, wo er hervorgebracht wurde, entfernt. Wäre aber die Luftmasse, in welcher der Schall sich fortpflanzt, cylindrisch, so ist nicht abzusehen, warum er mit der Entfernung abnehmen sollte, es müßte denn etwa wegen der Reibung der Luft in den Wänden der Röhre seyn. Durch eigne Erfahrung habe ich diese ungeschwächte Fortleitung in einer cylindrischen Luftsäule von 951 Metern (2927½ par. Fuß) Länge in den Röhren der Pariser Wasserleitungen bestätigt gefunden. Noch so leise ausgesprochene Worte wurden in dieser Entfernung vollkommen unterschieden und verstanden, so daß ein zusammenhängendes Gespräch Statt finden konnte. Ich suchte zu bestimmen, wie leise man sprechen müßte, um nichts mehr zu vernehmen; konnte jedoch nicht dazu gelangen. Worte, so leise ausgesprochen, als wenn jemand dem andern etwas ins Ohr sagt, wurden noch gehört und verstanden; so daß es, wenn einer den andern nicht mehr hören sollte, blos das einzige Mittel gab, überhaupt gar nicht zu sprechen. Zwischen einer Frage und der, vom andern Ende erhaltenen, Antwort verstrichen 5,58 Sec.; dies war demnach die Zeit, welche der Schall brauchte, die Länge der Luftsäule, d. i. 1902 Meter, zweimal zu durchlaufen *). Um auszumitteln, ob tiefe und hohe, starke und schwache Töne mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt werden, oder nicht, ließ ich an einem Ende der Röhre

*) Die Eigenschaft einer überall gleich weiten Röhre, den Schall, weil er sich nicht weiter ausbreiten kann, ungeschwächt zu leiten, bemerkte auch Kircher in einer alten Römischen Wasserleitung, in welcher er den Schall 600 Fuß weit mit gleicher Stärke hörte. Nach andern Nachrichten soll die Wasserleitung des Claudius den Schall mehrere Italiänische Meilen weit verbreiten (Chladni's Akustik. §. 208.).

Melodieen auf einer Flöte spielen. Bekanntlich ist jedes Musikstück einem gewissen Maße (dem Tact) unterworfen, nach welchem die Töne sich genau in bestimmten Zeitabschnitten folgen müssen. Wenn also einige von den Tönen schneller oder langsamer als die andern fortgepflanzt worden wären, so würde sie mein Ohr mit den, dem Rhythmus des Musikstückes zufolge früher oder später eintretenden, Tönen zusammen vernommen, und dadurch die Melodie des Stücks ganz verändert gefunden haben. Statt dessen aber tönte die Melodie ganz regelmäßig und ihrem gehörigen Rhythmus gemäß; woraus erhellt, daß alle Töne mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt werden. Schon im J. 1738 wurde diese Bemerkung von den Mitgliedern der Akademie der Wissenschaften, ich weiß nicht mittelst welches Verfahrens, gemacht. Um die erwähnten Versuche mit Erfolg anzustellen, muß man durchaus die ruhigste Zeit der Nacht dazu wählen, etwa ein oder zwei Uhr Morgens. Am Tage hallen die Röhren von dem verworrenen, die äußere Luft aufs mannichfachste durchkreuzenden, Geräusch wieder, welches hindert, die schwache Erschütterung, welche ein, am Ende der Luftsäule leise ausgesprochenes, Wort hervorbringt, zu vernehmen, oder wodurch selbst diese Erschütterung aufgehoben wird. Auch wird unter diesen Umständen manchmal das stärkste Geschrei nicht gehört.

Die Röhren machen nicht nur eine Wahrnehmung der Geschwindigkeit des Schalls möglich, sondern auch der Verdichtungen, welche in dem Maße, als die Schallwelle die Lufttheilchen erreicht, in denselben hervorgebracht werden. In der cylindrischen Säule, welche mir zu meinen Versuchen diente, hatte das Abschießen von Pistolen an dem einen Ende eine noch sehr beträchtliche Explosion am andern zur Folge, wenn die Erschütterung dahin gelangte. Die Luft wurde aus der letzten Röhre mit hinlänglicher Kraft ausgetrieben, um auf der Hand das Gefühl eines heftigen Windes zu verursachen, leichte Körper, die in die Richtung desselben hingelegt wurden, weiter, als einen halben Meter fortzuschleudern und brennende Lichter auszulöschen; obwohl die Entfernung von dem Orte, wo die Pistole, $2\frac{1}{2}$ Sec. vorher, abgeschossen wurde, 951 Meter betrug.

Da alle diese Erscheinungen einfache Folgerungen aus den physischen Eigenschaften der Luft sind, so müssen sie sich begreiflicher Weise nach den Gesetzen der Mechanik mit Schärfe berechnen und vorherbestimmen lassen. Um sie nun daraus herzuleiten, müssen zuvörderst die Bestimmungen des Mittels gegeben werden, worin sie vorgehen. Man denkt sich dies als eine homogene luftförmige Flüssigkeit von beständiger Dichtigkeit und Temperatur, und bekannter, durch den Druck einer Queckſilbersäule von bestimmter Höhe gemessener, Spannkraft. Nun nimmt man an, daß ein kleiner Theil, so zu sagen ein einziges Theil-

chen, dieser Flüssigkeit auf irgend eine Art plötzlich erschüttert, z. B. gestoßen, gedrückt, oder ausgedehnt, oder auf alle diese Arten zugleich sollicitirt werde, und befragt den Calcul, wie diese Erschütterung sich durch die ganze Masse fortpflanzen müsse. Man findet auf solche Weise, daß die Fortpflanzung successiv geschieht, d. h. daß die Erschütterung jedes Theilchen erst in einer, je nach seiner Entfernung verschiednen, Zeit trifft, es auf einen Augenblick in Bewegung versetzt, und dann in seinen ersten Ruhestand zurückkehren läßt. Die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung ist gleichförmig. Der analytische Ausdruck für dieselbe zeigt, daß ihr Quadrat der Spannkraft des flüssigen Mittels direct und seiner Dichtigkeit umgekehrt proportional ist; woraus folgt, daß sie für das nämliche Gas sich gleich bleibt, wie sehr dasselbe immer zusammengedrückt oder ausgedehnt werden mag; so lange sich nur die Temperatur nicht ändert; denn Mariotte's Gesetz zufolge ändert sich die Spannkraft eines Gases, wenn es weder erwärmt noch erkältet wird, der Dichtigkeit, die man dasselbe annehmen läßt, proportional ab. Aus diesem Grunde würde die Geschwindigkeit des Schalls in allen Horizontalschichten der Atmosphäre gleich seyn, wenn die Temperatur nicht in dem Maße, als man höher in derselben hinaufkommt, abnähme: die größere Kälte aber, welche in den obern Regionen Statt findet, hat eine langsamere Fortpflanzung des Schalls daselbst zur Folge. Auch bringt hier eine gleich starke Erschütterung nur einen schwächern Schall hervor, weil die Zahl der erschütterten Molecule in dem nämlichen Radius der Erschütterung geringer ist. So wird auch begreiflich ein, in den höhern Regionen der Atmosphäre erregter, Schall schneller in der Richtung nach den untern Schichten an Stärke verlieren und ganz verschwinden müssen, als in horizontaler Richtung, weil, wegen größerer Dichtigkeit dieser Schichten, die ursprüngliche Bewegung sich darin zwischen einer größern Zahl Theilchen zu vertheilen hat; dagegen muß die Schwächung für einen gleichen Abstand weniger bei der Fortpflanzung des Schalls von den untern nach den obern Schichten betragen.

Diesen Berechnungen zufolge würde der Schall in der atmospärischen Luft bei der Temperatur des schmelzenden Eises eine Geschwindigkeit von $279^{m},29$ (859 par. Fuß 9 Zoll), und bei der Temperatur von 6 Grad, bei welcher die Mitglieder der franz. Akademie ihre Versuche anstellten, von $282^{m},42$ (869 Fuß 4 Zoll) für die Secunde haben müssen. Die Beobachtung giebt dagegen die Geschwindigkeit zu $337^{m}18$ an, was fast $\frac{1}{8}$ mehr beträgt. Dieser Unterschied rührt, einer Bemerkung von Laplace zufolge, daher, daß man bei Berechnung der Spannkraft der Luft, die Wärme außer Acht läßt, die bei den

wechselsweise erfolgenden Zusammenziehungen und Ausdehnungen, durch die der Schall entsteht, frei oder gebunden wird. Diese, wenn auch nur momentanen, Veränderungen bedingen entsprechende Veränderungen in der Temperatur der erschütterten Luftmolecule, was zur Folge hat, daß die Spannkraft der letztern sich schneller verändert, als das, für eine gleichbleibende Temperatur geltende, Mariottische Gesetz aussagt. Begreiflicherweise also muß diese Ursach die Geschwindigkeit des Schalls beschleunigen, wie es der Versuch nachweist; und zieht man sie in Rechnung, so findet man die wahre Geschwindigkeit als Function der Temperaturerhöhung, welche eine Luftmasse sich selbst durch Entbinden eigner Wärme ertheilen kann, wenn sie plötzlich nach einem bekannten Verhältnisse zusammengedrückt wird. Leider scheint sich dies Element auf dem Wege der Erfahrung mit Genauigkeit kaum bestimmen zu lassen, wegen der enormen Wärmemenge, welche die Gefäße, in die wir die Luft, um auf sie wirken zu können, einzuschließen genöthigt sind, verschlucken. Deßhalb kehrt man die Aufgabe um; und leitet, von der durch die Erfahrung gefundenen Geschwindigkeit des Schalls ausgehend, hieraus die Menge der entbundenen Wärme ab. Auf diese Weise findet man, daß eine Luftmasse, wenn sie um $\frac{1}{770}$ ihres Volumens zusammengedrückt wird, ihre Temperatur um 1° C. zu erhöhen vermag.

Die Statthaftigkeit dieser Erklärung läßt sich durch eine entscheidende Thatsache darthun. Der Schall erzeugt und pflanzt sich in den Dünsten eben so gut, als in den bleibenden Gasarten fort. Nun würde dies den Grundbedingungen des Dunstzustandes zufolge auf keine Weise Statt haben können, wenn die, durch die Erschütterungen des schallenden Körpers periodisch hervorgebrachten, Verdichtungen nicht in demselben Augenblicke eine Entbindung von Wärme und demzufolge eine Temperaturerhöhung in den Dünsten veranlaßten, durch welche die Flüssigkeit in elastischem Zustande erhalten zu werden vermag, weil sonst die, durch diese Excursionen zusammengedrückten, Theile der zusammendrückenden Kraft nur nachgeben könnten und sich in tropfbare Flüssigkeit verwandeln müßten: wo dann keine weitere Fortpflanzung der Erschütterung zu andern entferntern Theilen Statt finden könnte, welche doch die Grundbedingung der Schallerregung und Fortleitung ausmacht *).

Bisher haben wir blos einen einzigen ursprünglichen Mittelpunct der Erschütterung, reducirt auf einen mathematischen Punct, betrach-

---

*) Einwürfe gegen diese Erklärungsart findet man in Gilb. Annal. der Phys. von Benzenberg XLII. S. 30; von Brede XVIII. II.; von Prechtl XXI. IV. III.

tet: wenn es aber, wie gewöhnlich der Fall ist, deren mehrere giebt, so muß man jeden derselben als den Mittelpunct einer, sich kugelförmig durch den Raum verbreitenden, Wellenbewegung ansehen; und, wenn die anfänglichen Geschwindigkeiten und Dichtigkeitsveränderungen, welche den Lufttheilchen hiebei ertheilt werden, alle sehr klein sind, wie man es der einfachern Rechnung halber voraussetzt, so werden die Molecule, welche von dem Raum, wo die ersten Luftschwingungen (agitations) ihren Ursprung nehmen, entfernt sind, eine mittlere, aus der Zusammensetzung aller, von den einzelnen Mittelpuncten ausgehenden, Schwingungsbewegungen hervorgehende, Bewegung annehmen. Die Dauer dieser Bewegung wird demnach von der Zeit abhängen, welche die einzelnen Luftschwingungen brauchen, sich je nach der Entfernung der Puncte, von denen sie ausgehen, zu folgen; und ihre Intensität wird sich abändern, je nachdem sie bei ihrem Zusammentreffen in den Puncten des Raums sich mehr oder minder zu einer mittlern Bewegung verbinden oder einander entgegenwirken. Stellt man sich z. B. in Gedanken eine Luftmasse von beliebiger Gestalt und Ausdehnung gesondert vor, denkt sich jedem ihrer Theilchen erst eine willkührliche Geschwindigkeit und Dichtigkeit eingepflanzt, und dieselbe dann plötzlich ihrer eignen Spannkraft überlassen; so wird diese Masse, indem sie zu ihren ersten Dimensionen zurückkehrt, um die, zu ihrem Gleichgewicht erforderliche, Gleichheit des Drucks wiederherzustellen, in der umgebenden Atmosphäre Wellenbewegungen hervorbringen, deren Richtung und Intensität an jedem Puncte von der Art der Bewegung, in die man die Masse ursprünglich versetzt hat, abhängen werden. Diese kann so beschaffen seyn, daß die Wellenbewegungen sich in weit stärkerer Intensität nach einer Richtung als nach einer andern fortpflanzen, oder selbst, daß sie sich nur nach einer, gar nicht aber nach der entgegengesetzten Richtung fortpflanzen. Eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit, welche die Analyse darthut, und durch Euler aufgefunden wurde, ist aber, daß, welches auch die Intensität der fortgepflanzten Schallwellen seyn mag, jede derselben, wenn sie einmal entstanden ist, sich nur nach einer einzigen Richtung weiter fortsetzen kann, ohne je sich kugelförmig auszubreiten, wie die ursprüngliche Luftschwingung, oder je zurückzukehren; weßhalb man denn auch beobachtet, daß, wenn der Schall sich in einem freien Raume fortpflanzt, wo er an kein Hinderniß trifft, das ihn zurückzuwerfen vermöchte, er im Ohr nur einen, längere oder kürzere Zeit dauernden, merklichen Eindruck zurückläßt, dann aber verhallt und nicht wiederkehrt.

Unsere bisherigen Erörterungen bezogen sich auf den Fall, wo sich der Schall in einer homogenen und ins Unbestimmte ausgedehnten Luft-

masse fortpflanzt. Denken wir uns jetzt dieselbe durch eine Oberfläche von unveränderlicher Lage begränzt; dann können die Luftmolecule, welche unmittelbar an dieser Oberfläche anliegen, sich nicht davon trennen; weil in diesem Fall ein leerer Raum an derselben entstehen würde, und die Luftmolecule nach einer augenblicklichen Entfernung sogleich wieder dahin zurückkehren müßten. Sie können demnach nur in der Richtung der Berührungsebene an ihr hingleiten. Bis übrigens die Schallwelle an die feste Oberfläche gelangt ist, muß sie sich wie in der freien Luft fortpflanzen, weil während dieses ganzen Verlaufs die Dichtigkeit der Luft dieselbe bleibt, als wenn das Hinderniß nicht vorhanden wäre. Durch Aufnahme dieser Bedingungen in die analytischen Formeln findet man, sofern ihnen Genüge geschehen kann, die Art, wie die Schallwelle sich fortsetzen muß. Es ergiebt sich daraus, daß der Schall beim Antreffen an eine Oberfläche wie das Licht zurückgeworfen werden muß, indem sein Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist; und, unter der Annahme, daß die directe Schallwelle von einem einzigen erschütterten Puncte ausgeht, werden der Verlauf und die Intensität der zurückgeworfenen sich auch eben so verhalten, als wenn sie von einem einzigen, in der nämlichen Entfernung von der andern Seite der zurückwerfenden Ebene gelegenen, Puncte ausgienge; hieraus erklärt sich die Erscheinung des Echo's *).

---

*) Da der Schall (nach Biot) in der Frostkälte 1026 par. Fuß zurücklegt, so würde ein Beobachter, welcher 513 Fuß von dem zurückwerfenden Gegenstande entfernt und in der Nähe des schallenden Körpers stände, das Echo eine Secunde später, als den Schall, hören (eine halbe Sec. braucht der Schall nämlich zum Hingange, die andere halbe zum Rückgange der 513 F.). Ein solches Echo wird also von einer, aus mehrern Worten bestehenden, Rede so viel Worte oder Sylben wiederholen, als nach geendigter Rede in Zeit von einer Sec. gehört werden können. Dies heißt ein vielsylbiges Echo (polysyllabum). Steht der Zuhörer dem zurückwerfenden Gegenstande so nahe, daß in dem Zeitraum, der zwischen dem Hören des Schalls und des Ohrs verfließt, nur eine Sylbe gehört werden kann, so hat man ein einsylbiges Echo (monosyllabum).

Auch das geübteste Ohr kann in einer Sec. nicht mehr, als neun auf einander folgende Laute deutlich unterscheiden. Man kann sich hievon versichern, wenn ein Tonkünstler im schnellsten Tempo die Violine spielt. Die Töne fließen in einander, und werden nicht mehr deutlich unterschieden, wenn deren mehr als neun auf den Zeitraum einer Secunde kommen. Daher wird zum einsylbigen Echo aufs Wenigste ein Zeitintervall von $\frac{1}{9}$ Sec. oder ein Ueberschuß von 114 Fuß erfordert, um welchen der Weg des zurückgeworfenen Schalles länger, als der gerade Weg vom schallenden Körper bis zum Zuhörer seyn muß. Wird der Schall wieder in seine vorige Richtung zurückgeworfen, und steht der Zuhörer beim schallenden Körper selbst, oder ruft er selbst, so muß die Entfernung des zurückwerfenden Gegenstandes wenigstens 57 Fuß seyn, damit durch den Hin- und Hergang des Schalles der Weg von 114 Fuß herauskomme, der in $\frac{1}{9}$ Sec. durchlaufen wird (Gehlers physik. Wörterb. Art. Echo).

Wenn die Oberfläche, an welche der Schall anprallt, ellipsoidisch ist, und der Mittelpunct der directen Schallwellen sich in einem der Brennpuncte befindet, so wird der Schall durch eine andre kugelförmige Welle zurückgeworfen werden, deren Mitte der andre Brennpunct ist; und seine Stärke wird nach der Zurückwerfung in dem Maße zunehmen, als die, solchergestalt gebildete, Welle sich concentriren und gegen diesen Mittelpunct zusammenlaufen wird. Diese Fälle von Zurückwerfung des Schalls sind bis jetzt die einzigen, welche man, unter Berücksichtigung der drei Dimensionen der Luftmasse, aus der Theorie hat abzuleiten vermocht *).

Füllt man den nämlichen Ballon successiv mit verschiednen luftförmigen Flüssigkeiten oder auch mit Dünsten an, so kann man die relative Stärke des darin erzeugten Schalls nach der Entfernung, in welcher er noch gehört zu werden vermag, schätzen; nur muß der, ins Innre des Ballons zu bringende, schallende Körper dann von der Art seyn, daß er immer mit gleicher Stärke schwingt, was z. B. ein kleines Schlagwerk leistet. Man findet durch diesen Versuch, daß die Stärke des Schalls mit der Dichtigkeit der, im Ballon enthaltenen, Luft zunimmt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Schall durch die festen Körper fortpflanzt, wird, wie hinsichtlich der Fortpflanzung durch die Luft geschahe, nach der elastischen Gegenwirkung (réaction élastique) des Mittels berechnet. Lagrange hat die Formel für den Fall einer Fortpflanzung längs einer festen Faser gegeben, und Laplace die Gegenwirkung einer solchen Faser nach der Verlängerung oder Verkürzung berechnet, welche sie erfährt, wenn sie durch eine bekannte Kraft ausgedehnt oder zusammengezogen wird. Er fand auf diesem Wege, daß, wenn man die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall in der Luft fortpflanzt, durch 1 bezeichnet, dasselbe im Messing $10\frac{1}{2}$ im Regenwasser $4\frac{1}{2}$, im Meerwasser $4\frac{7}{10}$, in allen rascher, als in der Luft ist. Diese Folgerungen lassen sich durch eine, bald zu erörternde, Art von Versuchen nachweisen. Auch ergiebt sich ihre Bestätigung unmittelbar, wenn man die Fortleitung des Schalls in langen Säulen aus den erwähnten Stoffen beobachtet. Ich selbst habe Beobachtungen dieser Art an einer Verbindung von 376 Röhren aus Gußmetall angestellt, die zusammen eine Länge von $951\frac{1}{4}$ Metern (2827 par. Fuß) hatten.**) An eine der Mündungen dieses Canals ward ein Ei-

*) Im Journal de l'Ecole Polytechnique, tome VII. p. 350 findet man interessante Untersuchungen über Rückwerfung des Schalls von einem Ellipsoid, Paraboloid, Hyperboloid u. s. w.

**) S. Nachrichten davon in Gilberts Annalen XXXV. 4. II. und XXXVII. 2. VI., nebst Bemerkungen von Benzenberg.

senring, der mit ihm von gleichem Durchmesser war, angefügt, und in seiner Mitte durch Schäfte, ebenfalls von Eisen, eine Glocke und ein, von einer Stahlfeder gehaltener, Hammer befestigt, vermöge deren man letztern nach Belieben an die Glocke anschlagen lassen konnte. Dann pflanzte sich der Schlag des Hammers an die Glocke zur Röhre mittelst der Schäfte und des Ringes von Eisen fort: und stellte man sich an das andre Ende der leitenden Linie, so mußte man einen doppelten Schall hören, einen, der durch das Metall der Röhre, den andern, der durch die Luft fortgepflanzt wurde. Auch nahm man wirklich beide ganz deutlich wahr, wenn man das Ohr an die Röhre hielt; ja es bedurfte dessen nicht einmal. Eben so zeigte sich bei Hammerschlägen, die man unmittelbar auf die letzte Röhre fallen ließ, diese doppelte Fortleitung. Durch Chronometer, welche halbe Secunden zeigten, wurde die Zwischenzeit zwischen dem Anlangen beider fortgepflanzten Töne gemessen. Ich fand auf solche Weise, daß der Schall sich 10½ mal so schnell durch das Metall, als durch die Luft, fortpflanzte.

Zweites Capitel.

Von der Wahrnehmung und Vergleichung der anhaltenden Töne.

Die Kenntniß, wie sich eine, in irgend einem Punct einer elastischen Flüssigkeit plötzlich hervorgebrachte, Schallschwingung der ganzen Masse derselben mittheilt, wird uns nun eine leichte Einsicht gewähren, wie die Schwingungen der Körper durch die Luft bis zum Gehörorgan fortgepflanzt werden und dort die Empfindung eines anhaltenden Tons hervorbringen können. Nach Maßgabe nämlich, als die Theilchen eines, in Schwingung befindlichen, Körpers bei ihren Excursionen abwechselnd hin und wieder gehen, wirken sie mechanisch auf die, sie umgebenden, Luftmolecule; und wenn sie dieselben bei ihrer Bewegung nach der einen Seite gestoßen und zusammengedrückt haben, so eröffnen sie denselben bei ihrer Rückkehr nach der entgegengesetzten Seite einen leeren Raum, der ihnen gestattet sich auszudehnen. Daher werden die, dem schallenden Körper zunächst befindlichen, Theilchen, gleich diesem selbst, hin und wieder gehen, indem sie ähnliche Schwingungen vollbringen; sie werden also auch für ihr Theil auf die ihnen zunächst befindlichen Luftmolecule wirken, diese wieder auf andre u. s. f. bis ins Unendliche.

Um uns eine klare Vorstellung von dieser Fortpflanzung zu machen, wollen wir sie zuvörderst betrachten, wie sie in einer cylindrischen

Luftsäule vor sich geht, die von gleichförmiger Dichtigkeit und von allen Seiten abgeschlossen ist, dergleichen AO in Fig. 2. darstellt. Für den schallenden Körper wollen wir eine ebene Fläche annehmen, deren Schwingungen senkrecht auf diese Säule Statt haben, so daß CC, C'C' die Gränzen ihrer Excursionen sind; und T bezeichne die ganz kurze Zeit, die sie braucht, von einer dieser Lagen zur andern überzugehen. Um den Erfolg dieser Schwingungen auf den, oben erörterten, Erfolg der augenblicklichen Erschütterungen zurückzuführen, theilen wir in Gedanken die Totalausdehnung AA', in der sie Statt haben, in eine unendliche Menge kleiner Schichten, die wir als nach einander, jede aber nur einen unendlich kleinen Zeittheil hindurch, erschüttert annehmen. Fängt nun die Oberfläche vom Punct A aus zu schwingen an, so wird die erste Erschütterung in A hervorgebracht werden; und hielte jene nach diesem ersten Anstoß plötzlich mit ihren Schwingungen ein, so würde eine unendlich kleine Schallwelle entstehen, die sich mit der gewöhnlichen Schallgeschwindigkeit durch die ganze Luftmasse hindurch fortpflanzte. Dabei würde, wegen der Kleinheit der Luftschicht, welche den ersten Impuls vom schallenden Körper erfuhr, die fortgepflanzte Erschütterung in jedem Puncte nur einen unendlich kleinen Zeittheil dauern. Bevor wir nun die schwingende Fläche an eine zweite Luftschicht gelangen lassen, müssen wir als ausgemacht annehmen, wofür sich in Kurzem der Beweis durch die Erfahruug wirklich ergeben wird, daß bei allen, dem Gehörorgan noch vernehmlichen, Tönen die absolute Geschwindigkeit des schallenden Körpers stets sehr gering in Vergleich mit der Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalls ist. Wenn demnach die schwingende Fläche die zweite Luftschicht erreicht hat, so wird die, in dieser durch die erste Schallwelle hervorgebrachte, Erschütterung schon vorüber, und dieselbe in den Ruhestand zurückgekehrt seyn. Stößt also die Fläche an sie, so wird sie dieselbe gerade so erschüttern, wie sie die erste Schicht erschüttert hatte, und hiedurch wird eine zweite Wellenbewegung veranlaßt werden, die sich längs der ganzen Luftlinie (Schallinie, Schallstral, ligne d'air), welcher die erste folgte, fortpflanzen wird. Ist endlich nach der ganzen Zeit T die schwingende Fläche bis A' gelangt, welches die Gränze ihrer Excursionen nach der einen Richtung ist, so wird die letzte Wellenbewegung von diesem Punct ausgehen. Auf solche Weise wird in der Schallinie eine fortlaufende Reihe von Wellenbewegungen der nämlichen Beschaffenheit, von denen eine immer der andern folgt, Statt haben und es wird sich mithin in jedem Augenblick auf dieser Linie eine Folgereihe, gleichzeitig in Bewegung befindlicher, Puncte befinden. Die Gesammtheit dieser Puncte wird die Schallwelle (oude sonore) bilden, die stets zwischen den äußersten Wel-

lenbewegungen enthalten ist, die von A und von A' ausgiengen. Wäre der Zwischenraum AA' Null, so würden die erste und letzte Wellenbewegung von dem nämlichen Puncte ausgehen; und die Totallänge der Schallwelle würde der Weite gleich seyn, um welche die zuerst entstandne Wellenbewegung der letzten vorausgieng, d. i. der Weite, die sie in der Zeit T durchlaufen mußte, um welche sie eher als die letzte entstand. Da aber der Punct A', von welchem diese letzte ausgeht, weiter nach vorn, auf ihrer gemeinschaftlichen Bahn liegt, so ersetzt dieser Vorsprung, den sie dem Raume nach hat, zum Theil das, um was sie ihres spätern Eintretens halber zurückbleiben würde, und macht, daß man den Zwischenraum AA' von der Länge der, so berechneten, Welle abziehen muß. Bei allen regelmäßigen und unserm Gehör vernehmlichen Tönen macht der Zwischenraum AA', welchen die Excursionen des schallenden Körpers einschließen, einen so geringen Theil der Totallänge der Welle aus, daß er aus der Acht gelassen werden kann. Dann ist es blos der vorderste Theil, den man zu berücksichtigen hat, und für diesen Fall, den wir allein in Rechnung zu ziehen haben, ist die Länge der Schallwellen ohne merklichen Irrthum dem Raume gleich zu setzen, den der Schall während der Zeit T, der Dauer der Schwingungen des schallenden Körpers, durchläuft.

Wenn also z. B. der Körper eine Schwingung in einer Secunde vollbrächte, während die Temperatur auf dem Grade des schmelzenden Eises stände, so würde die, dadurch erzeugte, Schallwelle eine Länge von 333^{m}, 44 oder 1026,4 Fuß haben; indem dies der Raum ist, den der Schall in diesem Fall in einer Zeitsecunde durchläuft: und legte man irgend eine andre Schwingungsdauer zu Grunde, so würde die Länge der Welle im Verhältniß zu dieser Dauer sich abändern. Hieraus leiten wir folgende Tabelle ab, die uns von häufigem Gebrauch seyn wird.

Anzahl der unendlich kleinen Schwingungen, welche der schallende Körper in einer Zeitsecunde vollbringt.		Länge der, dadurch hervorgebrachten, Schallwellen [1]).	
	1	1024 Fuß.	
	2	512	
	4	256	
Anfang der, dem Ohr vernehmlichen Töne	32	32	Die, hier eingeklammerten, Töne sind die nämlichen, welche durch eine, an beiden Enden offene, und der Länge nach der Luftwelle gleiche, Orgelpfeife hervorgebracht werden würden.
	64	16	
	128	8	
	256	4	
	512	2	
	1024	1	
	2048	6 Zoll.	
	4096	3 Zoll.	
Ende der vern. Töne	8192	18 Linien.	

Weiterhin werden wir in der Erfahrung die strengsten Belege für die Wahrheit dieser Resultate finden. Noch haben wir nur erst eine der Schwingungen des schallenden Körpers betrachtet, die nämlich, welche er von A nach A′ vollbringt. Bei seiner Rückkehr von A′ nach A wird er eine andre Reihe Wellenbewegungen veranlassen, für welche die nämlichen Gränzen der Dauer und Weite, als für die vorhergehenden, Statt finden, und deren Inbegriff ebenfalls eine Gesammtwelle, von der nämlichen Länge, als die vorige, bilden wird. Diese wird der ersten eben so unmittelbar folgen, als sich die Bewegungen des schallenden Körpers, der sie hervorruft, folgen. Hat aber die eine Welle die Lufttheilchen nach der Richtung AA′ fortgetrieben, indem sie dieselben verdichtete, so wird die zweite sie in der Richtung A′A anziehen, indem sie dieselben verdünnt; so daß, wenn ihre ursprüngliche Dichtigkeit D successiv D, D + d, D durch die Wirkung der ersten Welle wurde, sie D, D — d, D durch die Wirkung der zweiten wird. Nach und nach werden alle Lufttheilchen, indem die Erschütterung successiv zu ihnen gelangt, diese verschiednen Zustände erfahren, und beim Uebergange einer Welle zur folgenden, immer wieder zur Ruhe und zu dem Zustande ihrer ersten Dichtigkeit zurückgekehrt seyn. Denn wenn CC, C′C′ die Gränzen der natürlichen Schwingungen, die der schallende Körper macht, vorstellen, Gränzen, die blos durch die Elasticität seiner Theile bestimmt werden; so kann seine Bewegung bei denselben nicht plötzlich aufhören; sondern muß mit der

---

1) Um Bruchtheile zu vermeiden, ist die Geschwindigkeit des Schalls in der Secunde zu 1024 Fuß anstatt zu 1026 angenommen worden; denn da 1024 genau eine Potenz von 2 ist, so läßt sie sich fort und fort ohne Rest durch diese Zahl dividiren.

Annäherung an sie immer unmerklicher werden; so daß die Luft zuletzt nur noch ganz schwache und endlich gar keine Impulse mehr dadurch erhält. Dies verstattet den erschütterten Moleculen, allmälig zu dem Zustande der Dichtigkeit und des Gleichgewichts, in dem sie sich zu Anfange befanden, zurückzukehren, bevor die entgegengesetzte Welle einen merklichen Einfluß auf sie zu haben anfängt. Auf solche Art wird dieser periodische Wechsel in der Bewegung in ununterbrochener Wiederkehr so lange fortdauern, als der schallende Körper am Anfange der Schallinie zu schwingen fortfährt; so daß es nach einer Anzahl n seiner Schwingungen auf dieser Schallinie eine Anzahl n gleicher Schallwellen geben wird, die aber in abwechselnder Folge von entgegengesetzter Beschaffenheit, d. h. abwechselnd verdichtend und verdünnend sind, sich eine der andern folgen, Fig. 3., und zusammen eine, ihrer Summe gleiche, Totallänge einnehmen. Befindet sich demnach auf der Richtung dieser Schallinie ein Organ, welches durch diese Wellenbewegungen erschüttert zu werden vermag, so wird ein, damit begabter, Beobachter die Wahrnehmung des, durch den schallenden Körper hervorgebrachten, Tons erhalten. Die Periodicität der Wellen, ihre Dauer, ihre Stärke, das progressive Gesetz, nach welchem jede derselben die Dichtigkeit der Lufttheilchen abändert, werden eben so viel wahrnehmbare Kennzeichen seyn, mittelst deren das Organ die verschiednen Töne unterscheiden, und verschiedne Beschaffenheiten daran zu erkennen vermögend seyn wird. Schon oben wurde bemerkt, daß die größere oder geringere Höhe des Tons mit der Schnelligkeit der Schwingungen zusammenhängt; das Organ wird sie also nach der größern oder geringern Schnelligkeit, mit der die Schallwellen sich folgen, unterscheiden. Was die Stärke oder Intensität des Schalls betrifft, so wird sie abhängen von der Weite der Excursionen, welche die successiv in Schwingung versetzten Lufttheilchen machen, von der Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, die jede Welle darin hervorruft; endlich von der größern oder geringern Anzahl Theilchen, welche diese Wirkungen erfahren und successiv zum Gehörorgan fortpflanzen.

Es ergiebt sich aus diesen Betrachtungen, daß der Anfang und das Ende der Schallwellen wenig Eindruck auf das Gehörorgan verursachen können, weil die Lagen- und Dichtigkeitsveränderung der Lufttheilchen dann nur sehr wenig beträgt. Da jedoch die Sinneswahrnehmungen selbst nach dem Aufhören der, sie hervorbringenden, Ursach, immer noch eine gewisse Zeit hindurch fortdauern, so muß bei sehr rasch erfolgenden Schwingungen der, durch die Mitte der Schallwellen verursachte, Eindruck die Schwäche ihrer Enden decken; wodurch denn in der That eine Empfindung hervorgebracht wird, die blos

vermöge der Periodicität der, sie veranlassenden, Ursache, stetig wird, wie dies der Fall bei allen, in der Musik gebräuchlichen, Tönen ist. Folgen sich aber die Schwingungen so langsam, daß das Ohr die Perioden der Intensität in ihnen aufzufassen und ihre Zwischenzeiten zu unterscheiden vermag; so muß anstatt eines anhaltenden Tons eine Reihe periodisch wiederkehrender Geräusche oder Schläge wahrgenommen werden. Die Erfahrung bestätigt dies, wofür wir bald vielfache Belege erhalten werden.

Drittes Capitel.

Schwingungen elastischer Saiten.

Nach dieser Erörterung der physischen Umstände, deren Gesammtheit im Allgemeinen jeden Ton charakterisirt, müssen wir durch ein regelmäßiges und sich gleich bleibendes mechanisches Mittel dahin zu gelangen suchen, eine stetige und beliebig auszudehnende Reihe von Tönen hervorzubringen, um für jeden die Zahl der, in der Secunde vollbrachten, Schwingungen ausmitteln zu können. Hören wir dann irgend einen Ton, und beziehen ihn auf seinen Einklang (unisson) in der von uns bestimmten Reihe, d. i. auf den Ton darin, der genau die nämliche Empfindung von Höhe oder Tiefe erweckt, so werden wir eben dadurch, mit dem Grade der Schärfe, den unser Gehör hat, erfahren, welches die Zahl der Schwingungen in einer Secunde sey, die erforderlich war, ihn hervorzubringen; eine Zahl, durch die er mithin vollkommen bestimmt seyn wird. Obschon nun diese Vergleichung blos mittelst einer ganz einfachen Wahrnehmung angestellt wird, so lehrt doch die Erfahrung, daß sie bei einem geübten Gehör mit einer Genauigkeit geschieht, welche durchaus nichts zu wünschen übrig läßt. Unter den verschiednen Körpern, deren Schwingungen uns auf solche Weise dienen können, die allgemeine Vergleichung der Töne überhaupt daran zu knüpfen, eignet sich keiner mehr, als stark gespannte elastische Saiten, besonders wenn sie aus einem einfachen, durch den Drahtzug gezogenen, Drahte bestehen. Die vollkommen cylindrische Gestalt eines solchen Drahts, seine homogene Beschaffenheit, die gleiche Elasticität aller seiner Theile, endlich die Leichtigkeit, ihn immer wieder in der nämlichen Beschaffenheit darzustellen, wenn man seine Dicke und den Stoff, aus dem er besteht, kennt, sind eben so viel Eigenschaften, die ihn zu Versuchen, welche immer unter einander vergleichbar seyn sollen, ausnehmend geeignet machen. Um ihm die Fähigkeit zu Schallschwingungen zu ertheilen, muß man ihn stark zwischen zwei feste

Puncte spannen, wie die Saiten an den musikalischen Instrumenten, oder blos an einem Ende stark befestigen und dann vertical durch ein Gewicht spannen, wie Fig. 4. darstellt; oder auch ihn horizontal spannen, indem man ihn über eine, in der Höhe des festen Puncts angebrachte Rolle laufen läßt, wie Fig. 5. zeigt. In den beiden letzten Fällen muß man, um einen Theil des Drahts besonders schwingen zu lassen, seine Länge, nachdem man ihn gespannt hat, dadurch abgränzen, daß man ihn mit einer Zange kneipt, oder Stege (chevalets) untersetzt, welche hindern, daß die äußersten Puncte des, in Schwingung zu versetzenden, Theils sich nicht während derselben verrücken. Apparate dieser Art werden Monochorde (monochordes, sonomètres) genannt. Das verticale Monochord ist weit vollkommner und gewährt weit mehr Genauigkeit, als das horizontale, weil in letzterm die Spannung, welche das Gewicht hervorbringen soll, immer mehr oder minder durch die Reibung modificirt wird, welche die Rolle an ihrer Axe erfährt, eine Reibung, die um so stärker ist, je mehr sie durch die Wirkung des Gewichts gegen diese Axe gedrückt wird, weßhalb man durch dasselbe Gewicht, an den nämlichen Draht angebracht, nicht immer die nämliche Spannung erhält. Aus diesem Grunde muß man zu Untersuchungen, welche Schärfe erfordern, das verticale Monochord in Gebrauch ziehen, und sich des andern nur zu einer kleinen Zahl von Versuchen bedienen, welche eine horizontale Lage erfordern, wovon weiter unten. Endlich, da die Töne einer einfachen, von jedem andern Körper abgesonderten, Saite nur sehr schwach seyn und im Augenblick verhallen würden, so bringt man die Befestigungspuncte derselben auf einem hohlen Kasten an, dessen Wände aus trocknen, elastischen, dünnen, hölzernen Bretchen bestehen, dergleichen die sind, welche die Seele (caisse) der Violinen, der Bässe und der andern Saiteninstrumente bilden. Die Erfahrung lehrt, daß die Schwingungsbewegung der Saite sich diesen Bretchen mittheilt, und so den nämlichen Ton in ihnen hervorruft, den die Saite selbst giebt, wodurch der Ton der letztern verstärkt wird; was man die Resonanz nennt. Weiterhin werden wir untersuchen, auf welche Art dieses Entsprechen der Schwingungen zu Stande kommt; für jetzt nehmen wir es als Thatsache an. Wird eine, auf die angegebene Weise durch ein sich gleich bleibendes Gewicht gespannte, Metallsaite auch nur ganz wenig von ihrer geradlinigen Richtung, die wir als vertical annehmen, entfernt und dann der Wirkung der, sie sollicitirenden, Zugkraft *) überlassen, so pflanzt diese Kraft zuerst jedem Punct der

*) Hierunter ist das Gewicht zu verstehen, welches die Saite vertical gespannt hält.

Saite eine beschleunigte Bewegung nach der ursprünglichen Lage seiner Ruhe ein. Dort angelangt kann er vermöge der erlangten Geschwindigkeit nicht ruhig bleiben, sondern geht auf die andre Seite der Verticale bis zu einer gewissen Weite herüber, wo die fortwirkende Zugkraft seiner Excursion Einhalt thut; worauf sie ihn von Neuem nach der entgegengesetzten Richtung führt. Auf diese Weise geräth die Saite in eine Folge von Schwingungen nach beiden Seiten der Verticale, deren Gränzen sich mit bloßem Auge wahrnehmen lassen, obwohl sie fast immer zu schnell geschehen, um eine Zählung zu erlauben. Die Weite dieser Schwingungen nimmt immer mehr ab; sind sie indeß sehr klein, so bringt diese Veränderung in der Weite keine merkliche Veränderung in ihrer Dauer mit sich; weßhalb auch die Tonhöhe des dadurch erzeugten Tons, d. h. die Empfindung der Höhe oder Tiefe, die man durch ihn erhält, keine merkliche Veränderung dabei erfährt. Aus dem nämlichen Grundsatz folgt, daß dieser Ton sich auch gleich bleibt, auf welche Weise man immer die Saite aus dem Zustande ihres Gleichgewichts gebracht haben mag, sey es durch Reißen oder durch Streichen mit dem Violinbogen. Bei dieser Erscheinung läßt sich jedes unendlich kleine Element der Saite als eine kleine Masse betrachten, die durch die Kraft, welche an ihr zieht, und sie dadurch gespannt hält, in Bewegung gesetzt wird; so daß, wenn man die Länge der Saite, ihr Gewicht und die, sie spannende, Kraft kennt, es blos noch auf die Lösung einer rein mechanischen Aufgabe zurückkommt, die Dauer ihrer unendlich kleinen Schwingungen zu bestimmen.

In der That braucht man blos von diesen Datis auszugehen, um durch den Calcul folgende Sätze zu finden.

Wenn zwei Saiten von der nämlichen Länge und aus dem nämlichen Stoffe gleich gespannt sind, und sich blos in der Länge unterscheiden, so verhalten sich ihre Schwingungszahlen *) umgekehrt wie ihre Längen.

Sind sich aber die Saiten dem Stoffe nach, aus dem sie bestehn, so wie ihrer Länge nach gleich, und ist blos das Gewicht, welches sie spannt, verschieden, so sind ihre Schwingungszahlen den Quadratwurzeln dieser Gewichte direct proportional. Leicht läßt sich am Monochord die Wirkung, welche von diesen beiden Arten der Abänderung abhängt, nachweisen.

Um zuvörderst blos die Länge abzuändern, kann man sich eines kleinen beweglichen Stegs von dreieckiger Form bedienen, den man unter die Saite dahin stellt, wo eine bestimmte Länge von ihr abge-

*) Durch Schwingungszahl drückt man der Kürze halber die Anzahl Schwingungen, die ein Körper in einer gegebenen Zeit macht, aus.

gränzt werden soll. Dieser, in Fig. 6. durch H vorgestellte, Steg muß eine solche Höhe haben, daß, wenn er zwischen das obere Bretchen des Kastens und die Saite selbst gebracht wird, diese stark genug dagegen drückt, um am Berührungspunkte als unverrückbar befestigt angesehen werden zu können. Der größern Sicherheit und Genauigkeit halber kann man auch die Saite zwischen die Schenkel einer metallnen Zwinge P, Fig. 4., einklemmen, welche an einem Läufer befestigt ist, der sich an den Saiten des Kastens längs einer, darauf verzeichneten, Scale hin und wieder schieben läßt, so daß man sie an jedem beliebigen Punct, den man für gut befindet, hinführen und daselbst fixiren kann.

Gesetzt nun, man öffne nach so getroffener Anordnung, die Schenkel der Zwinge oder entferne den Steg, um die Saite zuvörderst ihrer ganzen Länge nach schwingen zu lassen; so wird sie eine bestimmte Schwingungszahl für die Secunde haben, die sich nach mathematischen Formeln aus dem Gewicht der Saite, ihrer Länge, und dem Gewicht, welches sie spannt, berechnen lassen wird [1]). Wir wollen diese Zahl für jeden Fall der Kürze halber durch den Buchstaben n ausdrücken. Um nun die Empfindung des Tons, welcher hiebei entsteht, auf eine bestimmte Tonhöhe zurückzuführen, bedienen wir uns einer Orgel, eines Fortepiano's oder irgend eines andern, uns zu Gebote stehenden, Instruments, welches fest bestimmte Töne hat, und suchen auf den verschiednen Tasten desselben den Ton auf, der uns hinsichtlich seiner Höhe oder Tiefe mit dem, welchen das Monochord gab, vollkommen übereinstimmend scheint. Läßt sich ein solcher Einklang nicht in der vollen Schärfe, die das Gehör fodert, auffinden, so bleiben wir bei dem nächsten Ton stehen, und ändern an dem Hülfsinstrument die Spannung der Saite oder die Länge der Pfeife, die ihn giebt, so weit ab, daß ein vollkommener Einklang Statt hat. Dann wird es immer in unsrer Macht stehen, durch Anschlagen der, so umgestimmten, Taste nach Willkühr den ersten Ton, den die Schwingung der ganzen Saite des Monochords gegeben hatte, genau in der nämlichen Art wieder hervorzubringen. Mithin wird dieser Ton für die ganze Folgereihe anzustellender Versuche festgestellt

---

1) Um den Ton rein und bei allen nach einander angestellten Versuchen von nicht merklich unterschiedner Stärke zu erhalten, muß die Art, wie die Saite in Schwingung versetzt wird, sich stets gleich bleiben, nur als augenblicklicher Impuls wirken, und so beschaffen seyn, daß der Freiheit der Schwingungen dadurch nicht der geringste Eintrag geschieht. Auf keine Weise wird man diese Bedingungen besser erfüllen, als indem man die Saite durch Ziehen etwas aus der Lage ihres Gleichgewichts entfernt, nicht mittelst des Fingers, sondern mittelst eines Streifchens von Ochsenleder, und sie dann sich selbst überläßt.

seyn, wenigstens unter der Voraussetzung, daß das Hülfsinstrument sich nicht verstimmt.

Schieben wir jetzt, ohne das Gewicht, welches die Saite des Monochords spannt, zu ändern, den Steg oder die Zwinge genau in die Mitte der ganzen Saite, Fig. 7., und lassen jede ihrer Hälfte besonders schwingen; so werden sie mit einander in Einklang seyn, wenn die Saite in ihrer ganzen Länge vollkommen gleich und homogen ist; allein der Ton jeder Hälfte wird sich von dem Ton, den die ganze Saite gab, unterscheiden; es wird der Ton seyn, den man in der Musik die Oberoctave, oder gewöhnlicher schlechthin Octave, des letztern nennt; und da dies Verhältniß immer wiedergefunden wird, welches auch die Länge, Dicke und Spannung der getheilten Saite seyn mag, so hat man zu schließen, daß, wenn ein Ton die Octave eines andern ist, er einer doppelt so großen Schwingungszahl, als dieser, entspricht; so daß, wenn man jeden Ton durch seine Schwingungszahl bezeichnen will; der erste Ton 1, und seine Octave 2 seyn wird. Nennt man also den Grundton, von dem man ausgieng, C und seine Octave c, so wird man haben

den Grundton . . . . C = 1
Seine Octave . . . . c = 2.

Wollte man umgekehrt den Ton c als Grundton betrachten, so würde der Ton C, dem eine halb so große Schwingungszahl zugehört, dessen Unteroctave darstellen. Und wendete man das nämliche Verhältniß auf den Ton C an, so würde man haben

den Grundton . . . . C = 1
Seine Unteroctave . . . = $\frac{1}{2}$.

Man muß jedoch beim Gebrauch dieser Ausdrücke nicht aus den Augen verlieren, daß sie blos zur Bezeichnung der Töne, und Classificirung derselben nach einem ihrer wesentlichen Merkmale dienen, nicht aber zum Maß oder Ausdruck für die Empfindungen selbst, welche die Töne in uns erwecken.

Versetzen wir jetzt den Steg oder die Zwinge des Monochords auf das Dritttheil der Saite, wie Fig. 8. darstellt, und lassen ihre kleinere Hälfte schwingen; so wird zufolge der Theorie die Schwingungszahl dieses Theils das Dreifache der Schwingungszahl, welche der ganzen Saite zugehört, betragen, d. i. gleich 3 n seyn, auch wird der, dadurch hervorgebrachte, Ton, bei weitem höher seyn, als der Grundton C. Um die Vergleichung des neuen Tons mit diesem Grundton, von dem wir ausgiengen, zu erleichtern, wollen wir ersterm für einen Augenblick seine Unteroctave substituiren, welche durch die beiden andern Dritttheile gegeben wird, wie sowohl die, auf die vorigen Ver-

suche gestützte, Theorie, als auch die unmittelbare Beobachtung lehrt. Die Schwingungszahl dieser zwei Dritttheile wird nun um die Hälfte kleiner als die des Einen Dritttheils, d. i. gleich $\frac{3}{2}$ n seyn; welches sagen will: die Schwingungszahl der zwei Dritttheile beträgt $\frac{3}{2}$ von der Schwingungszahl der ganzen Saite; und der Ton, welcher dadurch hervorgebracht wird, wird im Verhältniß zum Grundton C das seyn, was man in der Musik seine Quinte nennt, die nach der deutschen Bezeichnungsart G (nach der französischen sol) genannt wird. So wie wir nun C durch 1 bezeichneten, eben so werden wir, zufolge der nämlichen Bezeichnungsart $G = \frac{3}{2}$ setzen; und die Octave von G, die durch das Eine Dritttheil der Saite gegeben wurde, durch g ausdrücken; und wenn wir für diese Octave die nämliche Bezeichnungsart gebrauchen, nach welcher wir die andern Töne ausdrückten, d. h. wenn wir sie nach der relativen Schwingungszahl benennen, durch die sie hervorgebracht wurde, werden wir 3 zum Ausdruck für g erhalten. Theilen wir jetzt die Saite noch weiter ein, indem wir den Steg unter den vierten Theil ihrer Länge bringen, Fig. 9.; und lassen dieses Viertheil für sich schwingen, so wird seine Schwingungszahl das Vierfache von der ganzen Saite seyn; und mithin die Octave von c geben, oder zufolge der, in der Musik üblichen, Benennungen, die doppelte Octave von C, die wir durch $\overline{c}$ ausdrücken wollen; und weil, nach unserer frühern Bezeichnungsart, C gleich 1 ist, so wird $\overline{c} = 4$ seyn. Wird nun auch der andre Theil der Saite, der $\frac{3}{4}$ ihrer Länge ausmacht, in Schwingung versetzt, so wird seine Schwingungszahl $\frac{4}{3}$ von der des Tons C seyn: und der, daraus hervorgehende, Ton wird in Verhältniß zu C das seyn, was man in der Musik die Quarte nennt, und durch F ausdrückt: wir werden mithin zufolge unsrer Bezeichnungsart $F = \frac{4}{3}$ haben.

Fährt man auf diese Weise fort, die Saite in eine immer größere Anzahl gleicher Theile einzutheilen, so kann man nach und nach alle, in der Musik gebräuchlichen, Töne erhalten. Beschränken wir uns indeß jetzt auf die Reihe von Tönen, welche die sogenannte diatonische Tonleiter bilden, so finden wir für diejenigen, welche in einer Abmessung *) derselben enthalten sind, folgende Werthe, bei

---

*) Ich brauche dies Wort, um Zweideutigkeiten zu vermeiden, auf Gilberts Autorität gestützt (s. dessen Physik §. 233.), lieber als Octave, wo es, wie hier, nicht den Ton ausdrücken soll, der von einem andern um ein gewisses Intervall abliegt, sondern vielmehr die Gesammtheit der, in diesem Intervall vom Grundton zur Octave begriffenen, Töne, die man gewöhnlich auch durch den Ausdruck Octave bezeichnet, und demzufolge sagt, der Ton liegt in dieser oder jener Octave; wenigstens müßte man der Unterscheidung halber sagen: in dem Intervall dieser oder jener Octave.

welchen als Einheit die Schwingungszahl angenommen worden ist, welche dem Grundton C zugehört

Bezeichnung der Töne im Deutschen und Englischen [1]	C	D	E	F	G	A	H	c (B)
Französische Namen	ut	ré	mi	fa	sol	la	si	ut
Schwingungszahlen	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Länge der Saiten, welche sie geben	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$

Zieht man über eine Resonanztafel (table sonore) acht Saiten neben einander, die von dem nämlichen Stoffe, der nämlichen Dicke sind, durch gleiche Gewichte gespannt werden, und deren Längen zu einander in dem Verhältnisse stehen, welches vorstehende Tabelle angiebt, so werden diese Saiten, in Schwingung versetzt, wirklich die sieben Töne einer Abmessung der diatonischen Tonleiter hören lassen, wie sich leicht in der Erfahrung nachweisen läßt, und zieht man neben den ersten Saiten noch mehrere auf, deren Längen successiv das Doppelte, Vierfache, Achtfache der vorigen sind, so wird man dadurch eben so viel neue Abmessungen der Tonleiter erhalten, deren Töne Octaven, doppelte Octaven oder dreifache Octaven der Töne in der ersten Abmessung sind. Bei den musikalischen Instrumenten, wie dem Fortepiano und Klavier, werden die Saiten der verschiedenen Abmessungen durch Hämmer in Erschütterung versetzt, die man mittelst kleiner hölzerner Hebel, Tasten (touches) genannt, in Bewegung setzt, indem man mit dem Finger darauf schlägt. Die Tasten, welche zu einer und derselben Abmessung gehören, liegen neben einander; so ist die Taste, welche D giebt die zweite nach C; die, welche E giebt, die dritte, die welche F giebt, die vierte; die, welche G giebt, die fünfte; u. s. f. Dies hat zu dem Gebrauch Veranlassung gegeben, die Töne nach der Stelle zu bezeichnen, welche sie in der Reihenfolge von C an gerechnet, einnehmen. So sagt man, daß E die Terz; F die Quarte; G die Quinte; A die Sexte; H die Septime von C ist, und so fort; wonach z. B. die große Decime-Septime von C die siebzehnte Taste, von C aus gerechnet, bedeutet; welche mithin der doppelten Octave von E d. i. $\overline{e}$ entspricht.

Bisher haben wir blos die Länge der Saite sich ändern lassen; wir können aber auch durch bloße Veränderung in der Spannung, welche durch das Gewicht P vorgestellt wird, die Zahl der Schwingungen verdoppeln, verdreifachen oder überhaupt in irgend einem beliebigen Verhältnisse vervielfachen. Führt uns hiebei der Calcul auf irgend

---

1) Die Bezeichnungen mit Buchstaben sind die, welche bei den Orgeln üblich sind, und auf die Orgelpfeifen geschrieben werden.

eine der, durch die vorigen Versuche gefundenen, Schwingungszahlen, so müssen wir für dieselbe auch den nämlichen Ton wiederfinden; wenn es wirklich wahr ist, daß bei der nämlichen Art von Saiten der Ton nur von der Zahl der Schwingungen abhängt. In der That weist dies die Erfahrung in der größten Schärfe nach. Wenn die Saite, durch das Gewicht P gespannt, den Ton C giebt, so wird sie durch 4 P gespannt c geben, durch $\frac{9}{4}$ P gespannt G, durch $\frac{25}{16}$ P, E, u. s. f. Im Allgemeinen verhalten sich die Schwingungszahlen bei gleichen Längen der Saiten wie die Quadratwurzeln aus den, sie spannenden, Gewichten.

Bisher haben wir nur den Hauptton betrachtet, den jede Saite je nach ihrer Länge und dem, sie spannenden, Gewichte, giebt. Hört man aber recht aufmerksam auf den Ton, den eine Metallsaite hervorbringt, so kann man leicht die Vermischung mehrerer andrer Töne, welche höher als der Grundton sind, darin erkennen. Ist z. B. letzterer C, so vernimmt man ganz deutlich zugleich g und $\overline{e}$; d. i. die Octave seiner Quinte und die doppelte Octave seiner Terz, welche respectiv durch die Zahlen 3 und 5 vorgestellt werden, wenn der Grundton als 1 angenommen wird. Ein geübtes Ohr unterscheidet auch noch die Octave von C, welche durch 2 und die doppelte Octave von C, welche durch 4 vorgestellt wird. Durch Verallgemeinerung dieses Resultats ergiebt sich demnach, daß die nämliche Saite gleichzeitig, aber mit immerfort abnehmender Stärke, die Töne 1, 2, 3, 4, 5 . . . ., u. s. w. hören läßt, d. h. alle diejenigen, die sie durch Untereintheilung nach ganzen Zahlen hervorbringen kann. Deshalb hat man diesen Tönen den Namen der harmonischen (auch Flageolet-Töne) beigelegt, weil das Wort Harmonie den Inbegriff mehrerer gleichzeitig erklingender Töne, an welchen das Gehör ein Wohlgefallen hat, bedeutet, und kein andrer dem Ohr mehr schmeichelt als der, welcher die Töne enthält, die durch die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 vorgestellt werden. Damit nun ihr gleichzeitiges Vorhandenseyn an den schwingenden Saiten leichter bemerklich werde, muß man den Versuch mit einer hinlänglich dicken und langen Saite anstellen, um den Hauptton C von gehöriger Tiefe und Stärke zu erhalten. Sehr brauchbar sind hiezu die dicken Saiten eines Basses. Setzt man eine solche Saite durch einen güt ausgehaltenen Bogenstrich in starke Schwingung, und überläßt sie dann sich selbst, so unterscheidet das mindest geübteste Ohr deutlich die ersten Glieder in der Reihe der harmonischen Töne; und hat man sich erst gewöhnt, die gleichzeitig erklingenden Töne so zu unterscheiden, so nimmt man sie auch bei den Saiten aller andern musikalischen Instrumente wahr.

In allen diesen Fällen kann, da die Spannung sich immer gleich bleibt, das gleichzeitige Entstehen dieser Töne auf keine andre Weise Statt haben, als vermöge einer freiwilligen Theilung der Saite der Art, daß sie alle zu gleich zu geben vermag. In der That ist dies der Fall; und diese Töne stören einander nicht, weil es ein allgemeiner Grundsatz der Mechanik ist, daß der Luft, dem Wasser, und im Allgemeinen jeder materiellen Flüssigkeit mehrere ganz kleine Bewegungen zugleich eingepflanzt werden können, ohne daß ihre Wirkungen einander wechselseitig hemmen. Was die nähere Anwendung dieses Grundsatzes auf den vorliegenden Fall betrifft, so sehe man darüber mein größeres Werk nach.

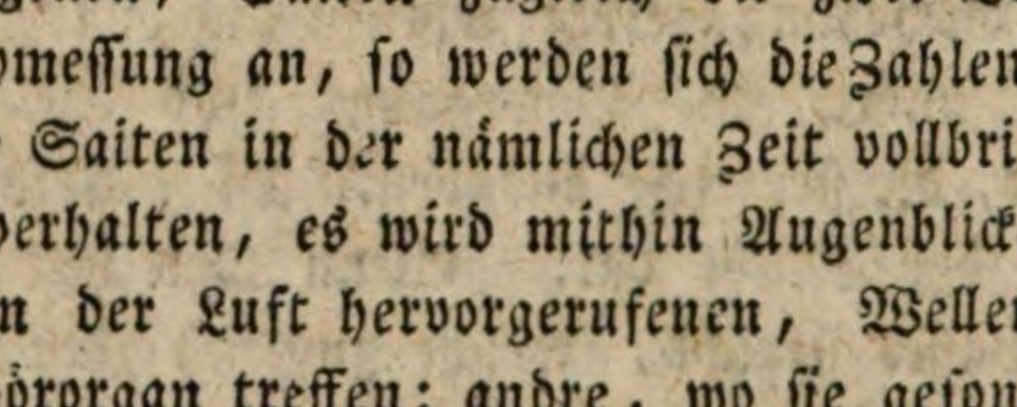
Dies gleichzeitige Vorhandenseyn verschiedner Bewegungen an derselben Saite läßt sich selbst den Augen bemerkbar machen. Bezweckt man z. B. blos eine Theilung in zwei Theile, Fig. 10, so braucht man nur auf der Mitte der Saite, in N, ein leichtes Hinderniß anzubringen, welches diesem Punct nicht erlaubt, sich von der Axe zu entfernen, ohne jedoch eine Bewegung desselben der Länge nach von einer Hälfte zur andern herüber zu hindern. Dies läßt sich ganz einfach dadurch bewerkstelligen, daß man die Saite an diesem Punct mit der Kante einer Karte berührt, oder auch nur den Finger leicht darauf legt. Streicht man nun mit einem Bogen die erste Hälfte AN, so daß sie ganz in Schwingung geräth, so giebt sie den, ihrer Länge zugehörigen, Ton, der mithin die Octave von dem Ton seyn wird, den die ganze Saite geben würde. Zugleich aber wird durch Mittheilung auch die andre Hälfte NB in Bewegung gesetzt, und schwingt nach derselben Periode, als die erste, immer aber in einer, dieser entgegengesetzten, Richtung. Diese Bewegung läßt sich zum Augenschein bringen, indem man stellenweis auf diesen andern Theil kleine, ganz leichte, zusammengekniffene Papierstreifchen setzt, so daß sie gleichsam darauf reuten. So wie die erste Hälfte vermöge der ihr unmittelbar ertheilten Erschütterung in Schwingung geräth, kommen die, auf die andre Hälfte aufgesetzten, Papierstreifchen in eine lebhafte Bewegung und werden manchmal weit fortgeschleudert. Man kann diesen Versuch auf die Art wiederholen, daß man die Saite in eine beliebige Menge gleicher Theile theilt, Fig. 11, und zweifach gefärbte Papierstreifchen, die einen auf die Mitten der schwingenden Theile, die andern auf deren Gränzpuncte, welche in Ruhe bleiben sollen, setzt. Darauf berührt man leicht einen einzigen dieser Puncte, um alle Arten von Schwingungsbewegung, durch die er von der Axe entfernt werden könnte, zu verhüten, und streicht mit dem Bogen über die Mitte eines der, in Schwingung zu versetzenden, Theile, um ihn zur Excursion zu bestimmen. Am meisten eignen sich hiezu die Theile,

welche dem festen Anheftungspuncte der Saite zunächst liegen. Mit dem Eintreten der Schwingung gerathen die, auf den schwingenden Theilen aufsitzenden, Papierchen in Bewegung; und fallen, so bald der Ton sich rein ausspricht, sämmtlich herab, während die, auf den Gränzpuncten befindlichen, sitzen bleiben. Dieser interessante Versuch rührt von Sauveur her. Vorzüglich gut gelingt er mit überspon-nenen Darmsaiten, die deshalb diesen Namen führen, weil sie, um größere Masse zu erhalten, mit einem ganz feinen Metalldraht um-wunden sind.

Man kann die Abtheilung einer Saite auch dadurch zu Stande bringen, daß man in der Nähe derselben eine andre Saite schwingen läßt, deren Schwingungszahl mit der ihrigen im Verhältniß der Ein-heit zu einer ganzen Zahl steht. Giebt z. B. die erste Saite C und die zweite c, so wird, wenn man diese klingen läßt, auch die erstre in Bewegung gerathen und sich von selbst in zwei gleiche Theile scheiden, zwischen denen sich ein Schwingungsknoten befindet. Man erkennt dies, indem man entweder scharf auf den Ton, den diese Saite giebt, hört, oder indem man bei Berührung derselben ihre Er-zitterung fühlt, oder auch indem man kleine Papierchen auf die Mit-ten der Theile, welche sich bewegen, so wie auf den Schwingungskno-ten, der ruhig bleiben soll, aufsetzt. Eine aufmerksame Untersuchung der Umstände, welche diese Mittheilung der Schwingungsbewegung begünstigen oder schwächen, führt zu der Einsicht, daß sie im Allge-meinen durch Vermittlung der Luft oder anderweiten Körper, die zwischen den, sich wechselseitig in Schwingung versetzenden, Saiten befindlich sind, zu Stande kommt. Nachdem diese Körper durch die erste Saite in Bewegung gesetzt worden sind, setzen sie dann ih-rer Seits die andre in Bewegung, und theilen ihr die Art Schwingung mit, die sie selbst ausüben. Diese Erscheinung bietet sich unaufhörlich in der Musik dar. Wenn man mit einem Bogen die Saite C eines Basses streicht, welche zugleich ihre harmonischen Tö-ne c nnd g hören läßt, so theilt sich die Saite G dieses Instruments sichtlich in zwei gleiche Theile ab, deren jede im Einklang mit diesem g schwingt. Ein elastischer Stab, welcher schwingt, bringt ebenfalls die gespannten Metallsaiten, welche mit ihm in Einklang sind, zum Mittönen. Eine richtig gespielte Violine verursacht das Mitschwingen der entsprechenden Saiten auf der Guitarre: dasselbe bewirkt eine Flöte, selbst wenn die Guitarre auf einer weichen Unterlage liegt. In die-sen letztern Fällen mag sich der Ton wohl einzig und allein durch die Luft fortpflanzen; damit jedoch so schwache Wellenbewegungen in die-ser eine merkliche Mittheilung der Bewegung zwischen zwei Saiten verursachen können, müssen die Impulse, die sie der zweiten Saite

successiv ertheilen, alle unter einander zusammenstimmen, und sich sämmtlich zur Hervorbringung derselben Schwingungsart vereinigen. Diese Saite muß mithin eine Bewegung annehmen können, welche mit der Wiederkehr der Luftwellen, die an sie treffen, periodisch zusammenstimmt. Dies findet Statt, wenn ihre Länge das doppelte, dreifache, oder im Allgemeinen irgend ein, durch eine ganze Zahl ausgedrücktes, Vielfache von der Länge der, zuerst in Schwingung versetzten Saite ist. Aber auch dann noch würde die Bedingung erfüllt seyn, wenn die Länge der zweiten Saite ein Submultiplum von der der ersten wäre, d. i. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$.... Giebt in diesem Falle die erste Saite den Ton C = 1, so wird die zweite Saite immer einen ihrer harmonischen Töne 2, 3, 4, 5 hervorbringen; und da diese harmonischen Töne sämmtlich an der ersten zugleich mit klingen, so muß jeder derselben die, ihm entsprechende, einzelne Saite in Bewegung versetzen; wie auch die Erfahrung bestätigt.

Endlich lassen sich noch neue Töne (mitklingende Töne, von mehrern auch passend Combinationstöne genannt) durch das Zusammenwirken mehrerer andern hervorbringen, und so zu sagen, schaffen, ohne, daß dabei irgend eine Mittheilung von Bewegung geschähe. Um diesen sonderbar scheinenden Satz zu erweisen, muß man das, was uns als Ton erscheint, unter den ausgedehntesten Begriff fassen. Im Allgemeinen, so oft das Gehör durch den anhaltenden Eindruck einer Folge von hinlänglich raschen Schwingungen afficirt wird, hat es die deutliche Empfindung eines Tons, und bestimmt die Beschaffenheit dieses Tons nach der Geschwindigkeit, mit welcher diese Schwingungen sich folgen. Gesetzt nun, man gebe an zwei, neben einander aufgezogenen, Saiten zugleich die zwei Töne c und g aus der nämlichen Abmessung an, so werden sich die Zahlen der Schwingungen, welche diese Saiten in der nämlichen Zeit vollbringen, zu einander wie 2 zu 3 verhalten, es wird mithin Augenblicke geben, wo die, durch dieselben in der Luft hervorgerufenen, Wellenbewegungen zusammen das Gehörorgan treffen; andre, wo sie gesondert zu ihm gelangen. Um die Epochen dieses Zusammentreffens und Nichtzusammentreffens zu unterscheiden, wollen wir alle die Augenblicke, welche dem Anfang und dem Ende der Schwingungen entsprechen, durch, gleichweit von einander auf der nämlichen Linie befindliche, Puncte in folgender Art ausdrücken.



Coincidenzen.

Die Epochen dieser Coincidenzen ergeben sich von selbst; die Zwischenzeiten, um die sie aus einander liegen, sind das Doppelte derer, welche die einzelnen Schwingungen von c trennen. Das Ohr wird demnach durch ihre periodische Wiederkehr gerade so afficirt werden, wie durch einen Ton, der um das Intervall einer Octave tiefer als c ist. Die Erfahrung lehrt, daß dem in der That so ist, und man schreibt die Entdeckung dieser schönen Erscheinung dem berühmten Tonkünstler Tartini*) zu. Um sie wahrzunehmen, müssen die Töne ganz rein gestimmt seyn und einige Zeit unveränderlich ausgehalten werden; sonst würde die Wiederkehr ihrer Coincidenzen nicht mehr regelmäßig ausfallen, und keinen vernehmlichen Ton mehr zum Erfolg haben können. Am leichtesten läßt sich dieser Versuch auf der Orgel anstellen, deren Töne mit einer, auf mechanische Einrichtung sich gründenden, Richtigkeit noch den Vortheil verbinden, beliebig lange Zeit hindurch ausgehalten werden zu können. Man hat selbst darin ein sichres, und schon seit langer Zeit übliches, Mittel, die richtige Stimmung dieses Instruments zu prüfen. Es läßt sich nämlich durch eine ganz einfache Rechnung finden, welcher Ton aus der Zusammenwirkung der beiden Töne, deren relative Schwingungszahlen man kennt, hervorgehn muß. Bringen nun die Tasten, deren Stimmung man untersuchen will, wirklich den Combinationston hervor, den die ihnen zugehörigen Töne durch ihr Zusammenwirken geben müssen, so wird man dadurch von der richtigen Stimmung derselben überzeugt seyn können. Diese Probe ist sogar die genaueste, der sich die Töne unterwerfen lassen; indem die geringste Veränderung in den zusammenklingenden Tönen gewöhnlich eine beträchtliche Abweichung in dem zugehörigen Combinationston bedingt.

Wenn die beiden Töne, die so zugleich angegeben werden, einander so nahe liegen, daß dies Zusammentreffen ihrer Schwingungen sehr selten erfolgt, oder wenn sie, bei größerer Entfernung von einander, in so tiefen Abmessungen genommen werden, daß sie sich seltner als zwei und dreißigmal in der Secunde begegnen, so verwandelt sich ihr Combinationston in einzelne, durch merkliche Zwischenzeiten getrennte, Schläge. Dies läßt sich leicht an der Orgel, dem Trochleon, und überhaupt allen Instrumenten mit fest bestimmten Tönen bestätigt finden. Wählt man z. B. auf der Orgel Tasten, welche den tiefsten Octaven entsprechen, so ähnelt die Reihe der Schläge einem Trommelwirbel, dessen Schläge mehr oder minder schnell einander folgen. Dies Re-

*) Tartini erwähnt sie erst 1754; aber schon 1744 hat sie Andreas Sorge in seiner Anweisung zur Stimmung der Orgelwerke und des Claviers erwähnt (Chladni).

sultat giebt eine neue Bestätigung der Behauptung, die wir zu Anfange dieses Buches aufstellten, daß ein ausgehaltener und gleichförmiger Ton nichts anders als eine Reihe von Schlägen ist, die sich in gleichen Zwischenzeiten mit hinlänglicher Schnelligkeit folgen.

Bei der Auseinandersetzung dieses bemerkenswerthen Erfolgs, den das Zusammenwirken zweier Töne hat, nahm ich, um die Erklärung zu vereinfachen, einen völlig gleichzeitigen Anfang derselben an; der allerdings nur ausnehmend selten Statt haben würde, aber auch zur Hervorbringung der Erscheinung kein wesentliches Erforderniß ist. Nur werden bei nicht gleichzeitigem Anfange der zusammenwirkenden Töne keine tonfreie Zwischenzeiten (intermittences) zwischen einzelnen Schlägen, die den Combinationston zusammensetzen, wie unter obiger Voraussetzung, Statt finden, sondern statt dessen wird es nur Maxima und Minima der Intensität des Combinationstons geben, deren eben so periodische Wiederkehr aber schon hinreichen wird, die Empfindung eines Tons zu verursachen. Dies läßt sich deutlich auf der Orgel bemerken. Bringt man auf dieser Schläge eines Combinationstons durch das Zusammenwirken zweier tiefen und wenig von einander unterschiednen Töne hervor, so treten nie völlig tonfreie Zwischenzeiten ein, sondern eine Art fortwährenden Summens (bourdonnement) mit vollkommen regelmäßig wiederkehrenden Perioden des Anwachsens und Abnehmens in der Stärke.

Bisher haben wir nur die transversalen (in die Quere gehenden) Schwingungen elastischer Saiten betrachtet; allein eine solche Saite ist noch einer andern Schwingungsart fähig, indem sie sich nämlich auch abwechselnd nach der Richtung ihrer Länge auszudehnen und zusammenzuziehen vermag. Wir bemerkten, als von der Elasticität der, durch Gewichte gezogenen, Saiten die Rede war, daß dieselben ein Streben äußern, ihre ursprüngliche Länge wieder anzunehmen, und, wenn die Kraft, welche sie dehnte, geschwächt oder aufgehoben ist, wirklich zu ihren ursprünglichen Dimensionen durch eine Folge isochronischer Oscillationen zurückkehren. Wird demnach eine solche, stark zwischen zwei festen Puncten gespannte, Saite nach der Richtung ihrer Länge gerieben, so läßt sich sehr wohl denken, wie dergleichen Schwingungen dadurch veranlaßt werden können. Denn dies Reiben nach der Richtung der Länge hat keine andre Wirkung, als daß einige kleine Abschnitte der Saite für den Augenblick aus ihrer Lage des Gleichgewichts gezogen, gegen die, ihnen nach einer Seite zunächst liegenden, gestoßen, von den zur andern Seite ihnen zunächst befindlichen aber abgezogen werden. Werden also diese Abschnitte der Saite dann sich selbst überlassen, so müssen sie zu ihrer ursprünglichen Lage zurückkehren, indem sie durch ihre Oscillationen eine Erschütterung

nach der Richtung der Länge hervorbringen, welche sich der ganzen Saite mittheilen muß. Unter den verschiednen Schwingungsarten, welche auf solche Art hervorgehen können, ist die einfachste die in Fig. 12 vorgestellte. Alle Abschnitte, welche zusammen die ganze Saite ausmachen, haben eine gleichzeitige Bewegung, die abwechselnd nach dem einen und dem entgegengesetzten Ende gerichtet ist. Wenn sie von A nach B gehn, so ziehen sie sich in B zusammen und verlängern sich in A; das Entgegengesetzte findet Statt, wenn sie bei der folgenden Schwingung die rückgängige Bewegung von B nach A machen. Im einen, wie im andern Fall erfährt die Mitte der Saite weder Zusammenziehung noch Ausdehnung; allein hier ist die Stelle, wo die Bewegung der Theilchen am schnellsten geschieht: dagegen dieselbe null an den beiden festen Enden ist. Die zweite Art Längenschwingungen ist in Fig. 13 vorgestellt. Die Saite theilt sich in zwei gleiche und mit einander zusammenstimmende Theile ab, welche in abwechselnder, stets in ihrer Richtung entgegengesetzter, und durch einen unbeweglich bleibenden Schwingungsknoten N geschiedener, Bewegung begriffen sind. Endlich lassen sich noch andre Schwingungsarten denken, bei welchen sich die Saite in 3 Theile, wie in Fig. 14, oder in eine noch größere Anzahl derselben theilt. Um diese Töne hervorzubringen, muß man die Saite nach ihrer Länge mit einem, auf ihre Längenrichtung sehr geneigt gehaltenen, Violinbogen reiben, indem man denselben über einen der Theile führt, die, der bezweckten Abtheilung der Saite gemäß, in Schwingung gerathen sollen: oder man kann auch diese Theile mit dem Finger reiben, oder mit irgend einem andern biegsamen, mit gepulvertem Colophonium bestreuten, Körper. Doch reicht dies noch nicht hin, nach Willkühr diese oder jene besondre Art der Abtheilung hervorzubringen; denn ein und der nämliche Abschnitt der Saite kann in einer unendlichen Menge verschiedner Fälle in Schwingung gerathen. Man muß also diejenige von allen Schwingungsarten, welche man bezweckt, noch näher fixiren; und dies bewerkstelligt man durch leise Berührung eines der Puncte, welche in Ruhe bleiben sollen. Die, auf solche Weise erhaltenen, Töne haben die nämlichen Verhältnisse unter einander, als die, welche durch transversale Schwingungen hervorgebracht werden; d. h. sie verhalten sich bei Saiten aus den nämlichen Stoffen und von der nämlichen Spannung umgekehrt, wie die Längen der schwingenden Theile; und theilt sich demnach die Saite successiv in 1, 2, 3 . . . n Theile ab, so folgen sie der Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3 . . . n. Allein sie sind ohne Vergleich höher als die Töne der transversalen Schwingungen, weil die eigenthümliche Spannkraft des Stoffes, welcher die Theilchen zu der ursprünglichen Lage ihres Gleichgewichts zu-

rückzuführen strebt, weit kräftiger ist, als bei der transversalen Schwingung die, durch ein Gewicht hervorgebrachte, Spannung.*)

Diese longitudinalen Schwingungen der Saiten stehen in auffallender Analogie mit den abwechselnden Zusammenziehungen und Ausdehnungen, deren Daseyn wir in den Luftwellen, durch welche der Schall fortgepflanzt wird, erkannten; und, wie wir bald sehen werden, erhält man durch sie eine genaue Vorstellung der Art, wie die Luftsäulen in den Blasinstrumenten schwingen.

Diese Schwingungsart ist meines Wissens bis jetzt nur von Chladni untersucht worden; er stellte Versuche hierüber mit Saiten an, die bis 48 Fuß in der Länge hielten.

Viertes Capitel.

In der Musik übliche Annäherungen für die Tonintervalle. Erforderniß, von der Schärfe dieser Intervalle bei Instrumenten mit festen Tönen nachzulassen (Temperatur); Regeln zu dieser Temperatur.

Das Bedürfniß der Musik hat erforderlich gemacht, zwischen die Intervalle der diatonischen Tonleiter noch eine gewisse Zahl kleinerer Intervalle zu legen, deren Kenntniß dem Physiker nöthig ist, indem er sonst diese verschieden gearteten Töne, welche die Schwingungen der Körper hervorbringen, nicht zu schätzen oder auf verständliche Ausdrücke zu bringen wüßte.

Rufen wir uns zuvörderst die Töne, welche die diatonische Tonleiter bilden zurück, zugleich mit ihren Werthen, wie sie durch die, ihnen entsprechenden, Schwingungszahlen gegeben sind.

Namen der Töne . . .	C	D	E	F	G	A	H	c
Länge der Saiten, welche sie geben	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$
Schwingungszahlen derselben	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Werth der nämlichen Zahlen, in Decimalbrüchen ausgedrückt .	1	1,125	1,25	1,333	1,5	1,667	1,875	2

---

*) Die Longitudinalschwingungen weichen noch darin von den Transversalschwingungen der Saiten ganz ab, daß bei jenen auf die mehrere oder mindere Dicke der Saiten und auf die stärkere oder schwächere Spannung fast gar nichts ankommt, desto mehr aber auf die Beschaffenheit der Materie; wie denn z. B. bei gleicher Länge der Saiten die Töne einer Messingsaite ungefähr um eine Sexte höher sind, als die Töne einer Darmsaite, und die Töne einer Stahlsaite ungefähr um eine Quarte oder Quinte höher, als die Töne einer Messingsaite. (Chladni a. a. O. §. 62)

Auf diese Art sind die sieben Töne einer und derselben Abmessung der diatonischen Tonleiter bestimmt. Durch successive Multiplication oder Division ihrer Schwingungszahlen mit 2, 4, 8, 16 u. s. w. ergeben sich dann auch die Töne aller andern, zwischen den höchsten und tiefsten Octaven der diatonischen Tonleiter enthaltenen, Abmessungen, und man kann so eine, bis ins Unbestimmte fortzuführende Reihe derselben erhalten, in der sich jedem Ton von gegebener Schwingungszahl eine bestimmte Stelle anweisen läßt.

Gegeben sey z. B. der Ton 18, d. h. dessen zugehörige Saite 18 Schwingungen macht, in der Zeit, während C eine macht. Da diese Zahl größer als zwei ist, so gehört sie einer der höhern Abmessungen an; ich dividire sie also mehrmals hintereinander durch 2, bis sie so weit reducirt ist, um in die erste Abmessung zu treten; d. h. bis sie zwischen 1 und 2 herabgebracht ist; eine einmalige Division reducirt sie so auf 9, eine zweite auf $\frac{9}{2}$, eine dritte auf $\frac{9}{4}$, welcher Bruch immer noch größer als 2 ist; eine vierte endlich bringt sie auf $\frac{9}{8}$ herab, welches zwischen 1 und 2 fällt, und gerade D gleich ist. Hienach ist der Ton 18 gleich $\frac{9}{8}$, multiplicirt mit der vierten Potenz von 2; ist mithin das D der vierten Abmessung über der, von welcher wir ausgingen, d. i. $\overline{\overline{\text{d}}}$

Betrüge die gegebene Schwingungszahl weniger als 1, so würde der, ihr entsprechende, Ton in einer Abmessung liegen, welche tiefer, als die erste wäre; und, um ihn durch Berechnung auf diese zurückzubringen, hätte man ihn durch 2 ein- oder mehreremal hintereinander zu multipliciren, bis er zwischen 1 und 2 fiele. Nehmen wir z. B. den Ton, dessen Schwingungszahl $\frac{1}{12}$ ist; einmal mit 2 multiplicirt, wird er $\frac{1}{6}$; zweimal $\frac{1}{3}$; dreimal $\frac{2}{3}$, welches noch unter 1 fällt; ein viertes Mal endlich $\frac{4}{3}$, welches gerade gleich F ist. Hienach ist der gegebene Ton das f in der vierten Abmessung unter der, von welcher wir ausgingen.

Nicht immer aber wird es der Fall seyn, daß die gegebene Zahl so genau mit einem der Glieder der Reihe zusammenfällt. Dann wird der, ihr zugehörige, Ton zwischen die beiden Glieder, denen sie sich am meisten nähert, zu liegen kommen. Betrachten wir z. B. den Ton, dessen Schwingunzszahl $\frac{6}{5}$ oder 1, 2 ist. Da diese Zahl zwischen 1 und 2 fällt, so gehört sie der ersten Abmessung an; allein sie fällt mit keinem Tone der diatonischen Tonleiter genau zusammen; ihr Werth, in Decimalstellen ausgedrückt, zeigt blos, daß der, ihr entsprechende, Ton etwas tiefer als C ist.

Weil solche Fälle sehr oft vorkommen, so hat man zwischen die ursprünglichen Töne der diatonischen Tonleiter mittelst Unterabtheilung

ihrer Intervalle noch Zwischentöne eingeschoben, durch die sich zwar nicht alle möglichen Töne mit vollkommener Schärfe darstellen lassen, da deren unendlich viele sind, die jedoch nahe genug an einander liegen, daß die, noch zwischen sie fallenden, Töne blos um ein so kleines Intervall von ihnen abweichen, daß die Abweichung im gewöhnlichen Gebrauch vernachlässigt werden kann.

Die Einschaltung dieser Zwischentöne geschieht im Allgemeinen auf solche Weise, daß man die ursprünglichen Töne der Tonleiter mit dem Tonverhältniß $\frac{25}{24}$ welches man den kleinen halben Ton nennt, multiplicirt, wodurch sie erhöht werden, oder daß man sie in dem nämlichen Verhältniß durch Division mit $\frac{25}{24}$ (d. i. durch Multiplication mit $\frac{24}{25}$) erniedrigt. So wird C, welches durch 1 ausgedrückt wird, um einen kleinen halben Ton erhöht zu $\frac{25}{24}$, und um einen kleinen halben Ton erniedrigt zu $\frac{24}{25}$.

Eben so giebt E, welches durch $\frac{5}{4}$ ausgedrückt ist, um einen kleinen halben Ton erhöht, den Zwischenton $\frac{125}{96}$, um einen kleinen halben Ton erniedrigt $\frac{120}{100}$ oder $\frac{6}{5}$. Gerade dies war der Ton, für den wir in unserm letzten Beispiel eine Stelle in der Tonleiter suchten, und dessen Werth 1, 2, auf Decimalstellen gebracht, zeigte, daß er etwas tiefer, als E sey. Die Erhöhung um den kleinen halben Ton wird in der Musik durch Vorzeichnung eines Kreuzes ♯, und die Erniedrigung um eben so viel durch Vorzeichnung eines b vor die zu erhöhende oder erniedrigende Note der Tonleiter angedeutet; und die Sprache hängt dem Namen eines solchen erhöhten Tons die Endung is, dem eines erniedrigten die Endung es an; wonach z. B. Dis das um einen kleinen halben Ton erhöhte D der Tonleiter, gleich $\frac{9}{8} \times \frac{25}{24}$ oder $\frac{75}{64}$, bedeutet; Des das um eben so viel erniedrigte D gleich $\frac{9}{8} \times \frac{24}{25}$ oder $\frac{27}{25}$. Eben so ist Eis gleich $\frac{5}{4} \times \frac{25}{24}$ oder $\frac{125}{96}$, Es gleich $\frac{5}{4} \times \frac{24}{25}$ oder $\frac{6}{5}$, u. s. f.

Um die, solchergestalt bestimmten, Zwischentöne in der Wirklichkeit darzustellen, wird man, wie bei den Tönen, die der diatonischen Tonleiter ursprünglich angehören, auf der tönenden Saite Längen zu nehmen haben, welche sich umgekehrt wie ihre Schwingungszahlen verhalten. Setzt man demnach diese Länge gleich 1 für den Ton C, so wird sie $\frac{24}{25}$ oder 0, 96 für Cis seyn, $\frac{5}{6}$, oder 0, 8333 für Es u. s. f. die Spannung und der Stoff der Saite werden bei diesen Vergleichungen immer als beständig vorausgesetzt.

Folgende Tabelle enthält die Angabe aller Töne, welche zu einer Abmessung der, auf solche Weise untereingetheilten, Tonleiter gehören.

Schwingungszahlen.	Diese Zahlen, auf Decimalbrüche reducirt.	Gebräuchliche Benennungen, um das Verhältniß jedes Tons zu dem, als Grundton angenommenen Ton C auszudrücken.
C = 1	1,00000	C — C Einklang.
Cis = $\frac{25}{24}$	1,04166	C — Cis kleiner halber Ton.
Des = $\frac{27}{25}$	1,08000	C — Des großer halber Ton.
D = $\frac{9}{8}$	1,12500	C — D große Secunde.
Dis = $\frac{75}{64}$	1,17187	C — Dis übermäßige Secunde.
Es = $\frac{6}{5}$	1,20000	C — Es kleine Terz.
E = $\frac{5}{4}$	1,25000	C — E große Terz.
Eis = $\frac{129}{96}$	1,30208	C — Eis.
Fes = $\frac{32}{25}$	1,28000	C — Fes verminderte Quarte.
F = $\frac{4}{3}$	1,33333	C — F Quarte.
Fis = $\frac{1125}{864}$	1,38889	C — Fis übermäßige Quarte
Ges = $\frac{36}{25}$	1,44000	C — Ges verminderte Quinte.
G = $\frac{3}{2}$	1,500000	C — G Quinte.
Gis = $\frac{225}{144}$	1,56250	C — Gis übermäßige Quinte.
As = $\frac{8}{5}$	1,60000	C — As kleine Sexte.
A = $\frac{5}{3}$	1,66667	C — A große Sexte.
Ais = $\frac{125}{72}$	1,73611	C — Ais übermäßige Sexte.
B*) = $\frac{9}{5}$	1,80000	C — B kleine Septime.
H = $\frac{15}{8}$	1,87500	C — H große Septime.
His = $\frac{125}{64}$	1,95313	C — His.
Ces = $\frac{48}{25}$	1,92000	C — Ces verminderte Octave.
c = 2	2,00000	C — c Octave.

*) Statt Hes braucht man B.

In die, mit diesen Einschaltungen versehene, Tonreihe läßt sich nun jeder beliebige Ton, dessen Schwingungszahl in Verhältniß zu C gegeben ist, einrangiren, so daß er entweder in der Abmessung, welche den Grundton C selbst enthält, oder einer höheren oder tieferen seine Stelle erhält, mit einer Abweichung von der strengen Genauigkeit, die immer weniger als einen kleinen halben Ton betragen wird.

Dies durch ein Beispiel zu verdeutlichen, wollen wir annehmen, der gegebene Ton habe die Schwingungszahl $\frac{125}{3}$ oder 41,66667. Vergleichen wir diese Zahl mit den Gliedern der Reihe 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ...., welche die Folge von C, c, $\overline{c}$, $\overline{\overline{c}}$ ... u. s. w. in den verschiednen Abmessungen ausdrückt, so finden wir, daß er zwischen 32 und 64, folglich in die sechste Abmessung fällt. Um sein Verhältniß zu dem c dieser Abmessung zu finden, muß man ihn mit 32 dividiren, welches zum Quotienten 1,30208 giebt. Vergleichen wir diese Zahl mit den, in unsrer Tabelle vorkommenden, so finden wir sie genau gleich Eis; sonach ist der gegebene Ton das eis der sechsten Abmessung über C, d. i. $\overline{\overline{eis}}$. Hätten wir einen Quotienten gefunden, der et-

was stärker oder etwas schwächer wäre, jedoch von Eis nicht so unterschieden, daß er mit größerer Genauigkeit zur folgenden Unterabtheilung gezählt werden müßte, so könnten wir diesen Umstand mittelst des Zeichens + oder des Zeichens — andeuten, indem wir dasselbe neben eis setzten, auf solche Art, $\overline{\text{eis}}$ +, $\overline{\text{eis}}$ —. Diese Andeutung wird in akustischen Untersuchungen oft erforderlich.

Umgekehrt sieht man, wie ein, auf diese Weise ausgedrückter, Ton leicht auf seinen Ausdruck in Zahlen zurückgeführt werden kann. Denn, ist z. B. der Ton $\overline{\text{fis}}$ gegeben, so ergiebt sich aus der Bezeichnung fis, daß die Schwingungszahl dieses Tons $\frac{4}{3}$ in Verhältniß zu dem c der Abmessung, welcher er angehört, ist. Der darüber stehende Strich aber deutet an, daß diese Abmessung die dritte über dem Grundton C ist, in Bezug zu welchem $\overline{\text{c}}$ gleich 4 ist. Die Schwingungszahl des gegebenen Tons wird also $\frac{2}{5}$ von 4 seyn, d. i. $\frac{8}{5}$.

Nachdem wir solchergestalt in der, ins Unbestimmte fortgehenden, Reihe von Tönen eine gewisse Anzahl Glieder festgesetzt haben, zwischen die sich durch Einschaltung alle möglichen Glieder einrangiren lassen, haben wir nun zu untersuchen, welchen Bezug die Intervalle dieser Glieder zur Reihenfolge unsrer Empfindungen haben. Dies leitet uns zur Erörterung, was man im Allgemeinen unter musikalischen Intervallen verstehe.

Weiter oben haben wir erwähnt, daß man einen Ton, G z. B., der $\frac{3}{2}$ Schwingungen macht, während ein andrer C Eine macht, die Quinte von C nennt. Dies ist indeß nichts, als eine Definition und kurze Bezeichnung nach einem bestimmten Merkmal, ohne daß darin eine Aussage über die Empfindung selbst, welche diese Töne in uns erregen, liegt. Nun ist aber gewiß, daß diese Empfindung bei dem einen Tone nicht die nämliche, als bei dem andern, ist, da wir beide sonst nicht unterscheiden würden. Der Unterschied, den wir zwischen ihnen finden, und den der Act selbst, den wir vornehmen müssen, um vom einen zum andern überzugehen, nachweist, macht das aus, was man das Intervall oder Tonverhältniß zweier Töne nennt; ein Intervall, welches offenbar größer oder kleiner ist, je nachdem die absoluten Schwingungszahlen der Töne sich mehr oder weniger von der Gleichheit entfernen. Auch empfindet unser Ohr, wenn diese Zahlen für zwei Töne sich gleich verhalten, welches auch übrigens die Schnelligkeit der sie hervorbringenden Schwingungen an sich seyn mag, den vollkommnen Einklang. Stehen diese Zahlen, anstatt gleich zu seyn, in dem Verhältniß von 2 zu 1, so erhalten wir die Empfindung der Octave; verhalten sie sich, wie $\frac{3}{2}$ zu 1, oder 3: 2, so haben wir die Empfindung der Quinte; wie hoch oder tief an sich

immer beide Töne seyn mögen. Diese Erscheinungen lehren uns, daß das Intervall der Töne einzig auf dem Verhältniß ihrer Schwingungszahlen zu einander beruht. Man kann es demnach durch dies Verhältniß, wo nicht messen, doch wenigstens als durch ein standhaftes Merkmal bestimmt halten, mit der Gewißheit, daß wenn dies das nämliche ist, auch das Intervall das nämliche seyn wird.

Ich habe auf solche Weise in der Tabelle S. 32 die Intervalle angegeben, welche zwischen den aufeinanderfolgenden Tönen der diatonischen Tonleiter und dem Grundton C enthalten sind. Folgendes sind die Werthe und Benennungen der aufeinander folgenden Intervalle, welche diese Töne unter einander bilden.

Intervalle zwischen den Tönen der diatonischen Tonleiter, in ihrer Aufeinanderfolge mit einander verglichen.	Verhältnisse, durch welche sie bezeichnet werden.	Ihre gebräuchlichen Benennungen.
D : C	$\frac{8}{9}$	großer ganzer Ton.
E : D	$\frac{9}{10}$	kleiner ganzer Ton.
F : E	$\frac{15}{16}$	großer halber Ton.
G : F	$\frac{8}{9}$	großer ganzer Ton.
A : G	$\frac{9}{10}$	kleiner ganzer Ton.
H : A	$\frac{8}{9}$	großer ganzer Ton.
C : H	$\frac{15}{16}$	großer halber Ton.

Die hier angeführten Benennungen, so wie die, oben für die andern Intervalle angegebenen, dürfen nicht als solche angesehen werden, welche Verhältnisse von Empfindungen bezeichnen, sondern vielmehr blos als solche, durch welche man eine Andeutung des Mehr oder Minder im Unterschiede erhält. Z. B. das Intervall D : C wird durch $\frac{8}{9}$ bezeichnet, das Intervall E : D durch $\frac{9}{10}$, welches ein Bruch ist, der um weniger von 1 abweicht, mithin gewiß kleiner ist, als erstrer. Hiedurch werden die Benennungen großer ganzer und kleiner ganzer Ton, die man ihnen gegeben hat, gerechtfertigt. Keineswegs aber muß man daraus schließen, daß das Verhältniß dieser Intervalle dem Verhältniß der Brüche, durch welche sie ausgedrückt werden, gleich sey; indem in den vorigen Betrachtungen nichts enthalten ist, was uns berechtigen könnte, diese Folgerung zu ziehen; auch werden wir bald finden, daß sie unrichtig seyn würde. Eben so wenig dürfen wir uns dadurch, daß das Tonverhältniß F : E in der Musik ein großer halber Ton genannt wird, verleiten lassen, zu glauben, es sey physisch die Hälfte des Intervalls D:E; welches nicht

minder falsch seyn würde: sein Zahlausdruck lehrt uns nichts, als daß es kleiner ist als dieses ganze Intervall. Dies führt uns jedoch von selbst zu der Untersuchung, ob es nicht möglich seyn würde, diese Vergleichung mit Schärfe anzustellen.

Zuvörderst lassen sich Intervalle bilden und feststellen, die genau das Doppelte, Dreifache, oder im Allgemeinen ein Vielfaches eines ersten gegebenen Intervalls sind. Hiezu ist hinreichend, das Zahlverhältniß, durch welches dieses Intervall ausgedrückt ist, ein- zwei- oder mehreremal mit sich selbst zu multipliciren. So wissen wir, daß der Ton G durch $\frac{3}{2}$ ausgedrückt wird, wenn man C gleich 1 setzt; und zugleich stellt er die Quinte von C vor. Um dies Intervall zu verdoppeln, braucht man nur die Quinte von G zu bilden, welche $\frac{3}{2}$ von $\frac{3}{2}$ ist, d. i. $\frac{9}{4}$; ein Product, welches den Ausdruck für das gesuchte doppelte Intervall giebt. Dies Intervall findet sich in der Tonreihe durch das Verhältniß von C und d verwirklicht; weil, wenn C gleich 1 gesetzt wird, d gleich $\frac{9}{4}$ ist.

Um das Intervall der Quinte zu verdreifachen, müßte man $\frac{9}{4}$ nochmals mit $\frac{3}{2}$ multipliciren, wodurch man $\frac{27}{8}$ oder $\frac{10}{3}$. $\frac{81}{80}$ erhielte. Dies Product ist dem Intervall C, a ziemlich gleich, welches zum Ausdruck hat $\frac{10}{3}$. Zwar ist es etwas größer, wegen des Factors $\frac{81}{80}$, der die Einheit übertrifft; doch beträgt der Unterschied nur wenig, weil $\frac{81}{80}$ sich nur unbedeutend von 1 entfernt. Dieser Factor $\frac{81}{80}$ heißt in der Musik ein *großes Komma*; und man nennt eine Note um ein solches Komma erhöht oder erniedrigt, wenn ihr ursprünglicher Zahlausdruck mit $\frac{81}{80}$ multiplicirt oder dividirt ist.

Da wir jetzt die Wiederholung gleicher Intervalle durch successive Multiplication der Brüche, welche sie ausdrücken, zu bewerkstelligen wissen, so wollen wir uns ein Intervall der Art denken, daß es, zwölfmal hintereinander wiederholt, genau das Tonverhältniß des Grundtons zu seiner Octave darstelle, mithin eine ganze Abmessung umfasse. Um dies zu leisten, wird der Bruch, welcher dieses Intervall characterisirt, zwölfmal hinter einander mit sich selbst multiplicirt, zum Product 2 geben müssen, welches der Ausdruck für das Intervall der Octave ist, mithin die zwölfte Wurzel aus 2 seyn müssen. Ein solches Intervall wird für das größere Intervalle der Octave so viel Unterabtheilungen geben, als in der Ausübung der Musik in Gebrauch sind, bei welcher jeder große oder kleine ganze Ton als zwei halben Tönen seiner Art gleichgeltend gesetzt wird; wonach eine Abmessung aus zwölf halben Tönen, theils großen, theils kleinen, mithin untereinander ungleichen, besteht. Diese ganze Ungleichheit wird jedoch bei unsrer neuen Untereintheilung verschwinden, wo das *Zwölftheil vom Intervall der Octave* einen wahren mittlern Halb-

ton bildet, dessen successive Wiederholung, mit den wahren Intervallen der Tonleiter verglichen, uns ihre Ungleichheiten anzeigen wird. Dieser mittlere Halbton läßt sich leicht mittelst Logarithmentafeln finden, indem man von der eben angeführten Bedingung ausgeht. Man findet ihn durch die Zahl 1,059463 ausgedrückt; d. h., der Ton, welcher ihn giebt, macht 1 und $\frac{594633}{1000000}$ Schwingung während C eine macht; wonach, wenn dieser Ton C durch eine Saite von der Länge 1 hervorgebracht wird, unser Zwölftheil der Octave durch eine Saite gegeben werden wird, welche eine Länge hat gleich $\frac{1}{1,059463}$ oder 0,943874; dem umgekehrten Verhältniß der Schwingungszahlen gemäß. Auf diese Weise sieht man, wie sich der, diesem Intervalle entsprechende, Ton in der Wirklichkeit hervorbringen läßt. Eben so kann man mittelst Logarithmen die Werthe berechnen, welche sich durch Erheben dieses mittlern Halbtons zu seinen successiven Potenzen ergeben, wodurch man die doppelten, dreifachen Intervalle u. s. f. die seine Wiederholung giebt, erhält; und dann findet man leicht auch die Länge der Saiten, welche die, jenen wiederholten Intervallen entsprechenden, Töne hervorbringen.

Da diese Resultate von häufiger Anwendung sind, so habe ich ihre Uebersicht in folgender Tabelle gegeben.

	Schwingungszahl der verschiednen Töne, welche die, in zwölf mittlere Halbtöne eingetheilte Abmessung der Tonleiter ausmachen.	Länge der Saiten, welche diese Töne geben.
C =	1,000000	1,000000
Cis oder Des =	1,059463	0,943874
D =	1,122462	0,890899
Dis oder Es =	1,189207	0,840896
E =	1,125992	0,793701
F =	1,334840	0,749154
Fis oder Ges =	1,414213	0,707107
G =	1,498306	0,667420
Gis oder As =	1,587400	0,629961
A =	1,681793	0,594604
Ais oder B =	1,781796	0,561230
H =	1,887745	0,529730
c =	2,000000	0,500000

Bei Vergleichung der Werthe der mittlern Intervalle, welche diese Tabelle enthält, mit den entsprechenden Intervallen, wie sie sich in der Tabelle S. 35 angegeben finden, sieht man bald, daß sie von einander abweichen. So zeigt sich das reine Intervall CD, welches $\frac{9}{8}$ oder 1, 125 zum Ausdruck hat, größer als das mittlere CD, welches durch 1,122 ausgedrückt wird, während auf der andern Seite die reine

Quarte CF = 1, 333 etwas kleiner, als die mittlere Quarte CF = 1,33484 ist. Auf dies Mehr oder Minder beschränkt sich indeß die Vergleichung, die sich nach diesen Zahlen anstellen läßt. Um weiter zu gehen, müßte man genau zu bestimmen wissen, wie viel jedes reine Intervall mittlere Intervalle enthält, oder, allgemeiner, wenn man das Verhältniß der Schwingungszahlen zweier Töne kennt, ein Verhältniß, welches den Ausdruck für ihr Intervall giebt, so muß man wissen, wie man dasselbe auf ein mittleres Intervall reduciren kann. Diese Aufgabe läßt sich in völliger Schärfe für den Fall auflösen, wo das gegebene Intervall eine genaue Wiederholung des mittlern Intervalls ist; indem dann die Zahl, welche es ausdrückt, eine genaue Potenz von 1,059463 ist; wie dies z. B. hinsichtlich der Octave 2 Statt findet, welche wirklich die zwölfte Potenz davon ist. Diesen Fall, der natürlich nur sehr beschränkt ist, abgerechnet, kann sich aber die Frage nur annäherungsweise auflösen lassen. [1])

Auch diese Rechnung ist mittelst Logarithmen leicht auszuführen; und man hat so die, in folgender Tabelle enthaltenen, Resultate gefunden, wo die Intervalle der Töne der diatonischen Tonleiter durch die Anzahl mittlerer Halbtöne, welche sie enthalten, ausgedrückt sind.

---

1) Diese Aufgabe kommt im Allgemeinen auf folgende zurück: wenn man die Zahl kennt, welche ein gegebenes musikalisches Intervall ausdrückt, die rationale oder irrationale Potenz zu finden, zu welcher 1,059463 erhoben werden muß, um diese Zahl zu geben. Der Exponent der Potenz wird die Zahl mittlerer Halbtöne ausdrücken, welche das gegebene Intervall enthält. Um ihn zu finden, muß man den Logarithmus des Verhältnisses, welches dieses Intervall ausdrückt, mit dem Logarithmus von 1,059463, den die gewöhnlichen Tafeln zu 0,0250858 geben, dividiren.

Beispiel: der Ausdruck der Quarte CF ist $\frac{4}{3}$ und der Logarithmus von $\frac{4}{3}$ ist 0,1249387; dieser Logarithmus, durch 0,0250858 dividirt, giebt zum Quotienten 4,980456. Dies ist die Zahl mittlerer Halbtöne, welche in dem Intervall der reinen Quarte CF enthalten sind.

Reine Intervalle.	Anzahl mittlerer Halbtöne, welche sie enthalten.	Reine Intervalle.	Anzahl mittlerer Halbtöne, welche sie enthalten.
C — C	0,000000	D — C	2,039100 großer ganzer Ton.
C — D	2,039100	E — D	1,824037 kleiner ganzer Ton.
C — E	3,863145	F — E	1,117313 großer halber Ton.
C — F	4,980456	G — F	2,039100 großer ganzer Ton.
C — G	7,019550	A — G	1,824037 kleiner ganzer Ton.
C — A	8,843587	H — A	2,039100 großer ganzer Ton.
C — H	10,882710	C — H	1,117313 großer halber Ton.
C — c	12,000000	Totalsumme	12,000000.

C — Cis + 0,706724.
C — Ces — 0,706724.

Bildet man eine vollständige Tonleiter, die außer den, ihr eigenthümlich angehörigen, Noten auch noch die, durch Vorzeichnung von ♯ oder b erhöhten oder erniedrigten Töne enthält und wiederohlt diese Tonleiter durch mehrere aufeinanderfolgende höhere und tiefere Abmessungen, so wird man dadurch allerdings eine reichhaltige Tonreihe erhalten, deren Glieder einander nahe genug liegen, daß viele Töne ihre Stelle darin finden können; dessenungeachtet wird bei dem kleinsten Musikstück die Folge der Intervalle, durch welche die Melodie schreitet, fast immer auf Töne führen, welche weder genau ihre Stelle in der Reihe finden, noch auf eins ihrer Glieder mit hinlänglicher Annäherung bezogen werden können, daß der Irrthum erträglich falle. Will man nun, um diesem Uebelstande zu entgehen, die Untereintheilungen der Reihe, auf welche alle Töne bezogen werden sollen, nicht bis ins Unendliche vervielfältigen, so muß man wenigstens ihre Glieder in solche Entfernung auseinanderstellen, daß jeder Ton, auf den die Melodie führt, seine Stelle darin mit dem möglichst kleinsten Irrthum finde. Der einfachste Weg hiezu ist, die ganze Reihe nach mittleren Halbtönen zu stimmen, den oben angegebenen Verhältnissen gemäß, und jeden gegebenen Ton auf denjenigen dieser Halbtöne zu beziehen, der sich seinem Zahlwerthe am meisten nähert. Auch geschieht dies wirklich bei allen Instrumenten mit fest bestimmten Tönen, wie dem Fortepiano, der Orgel, der Harfe. Die-

se Instrumente haben gewöhnlich nur zwölf Tasten für eine Abmessung, von denen sieben die Haupttöne der Tonleiter angeben, während die fünf andern, welche zwischen diejenigen dieser Töne, die um einen ganzen Ton aus einander liegen, eingeschoben sind, eine Art neutralen Halbtons liefern, der für die Erhöhung der vorgehenden Noten durch ♯ wie für die Erniedrigung der nachfolgenden durch b gleich gilt. Sind nun diese Instrumente durch die besten Stimmer gestimmt, blos nach der Einsicht, welche die tägliche Uebung giebt, und so wie es das Bedürfniß, jedes Musikstück auf eine, dem Gehör erträgliche Art, vortragen zu können, erfordert, und vergleicht man dann ihre Töne, einen nach dem andern, mit denen des verticalen Monochords mit beständigem Gewichte, so findet man, daß die Reihe dieser Töne genau durch mittlere Halbtöne auseinandergehalten wird, und zwar mit einer Schärfe, deren man ein bloßes Sinnesorgan kaum fähig halten sollte. Diese Vertheilung des Irrthums wird in der Musik die Temperatur genannt. Man hat verschiedne Arten, sie zu bewerkstelligen, deren jede ihre Anhänger zählt. Die angeführte Erfahrung jedoch beweist, daß die gleich-schwebende Temperatur diejenige ist, welche sich am besten für Instrumente eignet, auf denen alle Arten Stücke sollen gespielt werden können. Es erhellt auch aus dem Uebrigen, daß die Temperatur nur den Instrumenten eigenthümlich ist, die eine beschränkte Anzahl von Tönen haben; denn was die andern betrifft, die, wie die Violine und die menschliche Stimme, eine unendliche Menge derselben hervorbringen können, so vermögen sie immer jeden angegebenen Ton mit völliger Genauigkeit und ganz unverändert wiederzugeben; daher eine Temperatur derselben unnöthig ist, wenn sie allein oder in Begleitung von Instrumenten derselben Beschaffenheit gespielt werden. Ein andres ist es, wenn man sie zur Begleitung von Instrumenten mit fest bestimmten Tönen braucht; in diesem Falle müssen sie, um nicht durch ihre Richtigkeit eine unangenehme Dissonanz hervorzubringen, sich nach jenen fügen.

Zusätze

über die Herleitung der Accorde, Tonleitern und Tonarten

(aus Chladni's Akustik entlehnt).

Der Unterschied eines Tones von dem andern, oder die Verschiedenheit der Zahlen schwingender Bewegungen, welche in einerlei Zeit geschehen, nennt man ein Intervall oder ein Tonverhältniß.

Ein Intervall ist consonirend, wenn die Zahlen der Schwingungen in einem so einfachen Verhältnisse[1]) stehen, daß das Gehör sie am leichtesten faßt, und dadurch beruhigt wird, da hingegen ein Intervall dissonirend ist, wenn die Zahlen der Schwingungen in einem weniger einfachen Verhältnisse stehen. Ein Accord, der lauter Intervalle enthält, die sowohl gegen den Grundton, als auch unter sich consoniren, ist ein consonirender Accord, wenn aber ein oder mehrere dissonirende Intervalle sich darin befinden, wird er ein dissonirender Accord genannt.

Die consonirenden Intervalle sind in den Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder deren Verdoppelungen unmittelbar enthalten, die dissonirenden beruhen auf mannichfaltigen Combinationen dieser Zahlen. Das, mit der Zahl 7 übereinkommende, Intervall macht gewissermaßen den Uebergang von den Consonanzen zu den Dissonanzen. (Die Erklärung des Einklangs und der Octave ist schon von Biot gegeben).

Die Erfahrung lehrt, daß zwei Töne, die sich wie 1 zu 2 verhalten, einander in ihrer Wirkung so ähnlich sind, daß man einen nur als die Wiederholung des andern ansehen kann.

Hieraus folgt: 1) daß man ein Tonverhältniß nicht verändert, wenn man einen dieser Töne um eine oder mehrere Octaven höher oder tiefer nimmt und also eine von den Zahlen dieses Verhältnisses ein- oder mehreremal durch 2 multiplicirt oder dividirt, außer wenn die kleinere Zahl dadurch größer, als die andre wird, in welchem Falle man das dadurch erhaltene Intervall als eine Umkehrung des vorigen ansieht. So ist z. B. 2 : 3, 1 : 3, 1 : 6 einerlei Intervall, aber 4 : 3 oder 3 : 4 würde eine Umkehrung des vorigen Intervalls seyn. 2) Daß man die Octave als die Gränze aller möglichen Intervalle ansehen kann. 3) Daß, wenn man einen Grundton, mit dem man die andern vergleichen will, als die Einheit ansieht, alle Tonverhältnisse sich durch Brüche ausdrücken lassen, die zwischen 1 und 2 enthalten sind. Ob man also z. B. ein Verhältniß von zwei Tönen, von welchen der eine 4 mal schwingt, während der andre 5 Schwingungen macht, durch 4 : 5 oder durch 1 : $\frac{5}{4}$ ausdrückt, ist ganz einerlei. Man kann auch bei der Bezeichnung eines Intervalls die Einheit weglassen, und z. B. blos $\frac{5}{4}$ sagen, wo sodann das Verhältniß des Nenners zum Zähler das Verhältniß des tiefern Tons zum höhern

---

1) Ein Verhältniß ist einfacher, als das andre, wenn es sich durch kleinere Zahlen, als das andre ausdrücken läßt, und die, mit diesen Verhältnissen übereinkommenden, Schwingungszeiten desto öfter zusammen treffen.

bezeichnet, welche Art des Ausdrucks der Kürze wegen hier ferner wird gebraucht werden.

Anmerkung. Sollen zwei Tonverhältnisse zu einander addirt, d. i. soll ein Intervall gefunden werden, das so groß ist, als zwei andre Intervalle zusammengenommen, so ist es eben das, als wenn man zwei Brüche mit einander multiplicirt. Will man z. B. die beiden Intervalle $\frac{3}{2}$ und $\frac{6}{5}$ zu einander addiren, so ist $\frac{3}{2} \times \frac{6}{5} = \frac{18}{10}$, oder $\frac{9}{5}$.

Will man ein Intervall von dem andern subtrahiren, d. i. das Intervall finden, um welches die beiden gegebenen Intervalle verschieden sind, so ist es eben das, als wenn man einen Bruch durch den andern dividirt (umgekehrt multiplicirt). Z. B. wenn von $\frac{3}{2}$ soll $\frac{6}{5}$ abgezogen werden, so ist $\frac{3}{2} \times \frac{5}{6} = \frac{15}{12}$ oder $\frac{5}{4}$.

Will man mehrere Intervalle mit einander vergleichen, d. i. untersuchen, welches von beiden größer oder kleiner ist, so bringt man die beiden Brüche auf einerlei Benennung, man multiplicirt nämlich beide Zahlen eines jeden Bruchs durch den Nenner des andern. Wenn man z. B. wissen will, ob $\frac{3}{2}$ oder $\frac{25}{16}$ größer ist, so verwandelt man $\frac{3}{2}$ durch Multiplication beider Zahlen mit 16 in den Bruch $\frac{48}{32}$, und den andern Bruch $\frac{25}{16}$ durch Multiplication beider Zahlen mit 2 in $\frac{50}{32}$, wo man sogleich sieht, daß letztres Intervall größer ist.

Alle, durch die Zahlen 1 bis 6 oder deren Verdoppelungen unmittelbar entstehenden consonirenden Verhältnisse, wenn sie zwischen die Zahlen 1 und 2 nach ihrem geringern oder größern Abstande von 1 geordnet werden, sind folgende, $\frac{6}{5}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{8}{5}$, $\frac{5}{3}$, wovon die drei letztern nichts anders, als Umkehrungen der drei erstern sind. Den Einklang $\frac{1}{1}$, die Octave $\frac{2}{1}$ und die Quinte $\frac{3}{2}$ nennt man gewöhnlich vollkommene, die beiden Terzen $\frac{5}{4}$ und $\frac{6}{5}$ und Sexten $\frac{5}{3}$ und $\frac{8}{5}$ unvollkommene Consonanzen.

Aus diesen 6 möglichen consonirenden Verbindungen zweier Töne wird sich auch leicht beurtheilen lassen, was für consonirende Verbindungen von 3 Tönen möglich sind. Im Ganzen sind 15 dreistimmige Combinationen der erwähnten Intervalle möglich: $1 : \frac{6}{5} : \frac{5}{4}$; $1 : \frac{6}{5} : \frac{4}{3}$; $1 : \frac{6}{5} : \frac{5}{3}$ u. s. w.; allein man sieht sogleich, daß mehrere von diesen Verbindungen keinen consonirenden Accord geben, weil zwar alle Zahlen gegen den Grundton, aber nicht die beiden letzten Zahlen unter sich consonirend sind. So würden sich die beiden letzten Zahlen gegen einander verhalten in $1 : \frac{6}{5} : \frac{5}{4}$ wie 1 zu $\frac{25}{24}$; in $1 : \frac{6}{5} : \frac{4}{3}$ wie 1 zu $\frac{10}{9}$ u. s. w.; und 9 von jenen 15 Verbindungen werden daher dissonirend seyn.

$1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ giebt aber einen consonirenden Accord, weil alle Verhältnisse sowohl gegen den Grundton, als auch unter sich consoniren, indem $\frac{5}{4}$ zu $\frac{3}{2}$ sich wie $1 : \frac{6}{5}$ verhält. Eben so giebt $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$ einen andern consonirenden Accord, weil die, gegen den Grundton consonirenden, Intervalle $\frac{6}{5}$ und $\frac{3}{2}$ auch unter sich consoniren, und sich gegen einander wie $1 : \frac{5}{4}$ verhalten. Was die consonirenden Accorde

$1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$ und $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ betrifft, so sind sie eben das, was die beiden vorigen waren, wenn man die Brüche $\frac{3}{2}$ und $\frac{5}{8}$ mit 2 dividirt, und bei der erstern Combination alle Zahlen mit $\frac{5}{4}$, bei der zweiten aber mit $\frac{6}{5}$ multiplicirt. Eben so lassen sich auch die Accorde $1 : \frac{4}{3} : \frac{5}{3}$ und $1 ; \frac{4}{3} : \frac{8}{5}$ auf diese beiden Accorde reduciren, wenn man die Einheit mit 2, und in beiden alle Zahlen mit $\frac{3}{4}$ multiplicirt. Alle diese 4 Accorde sind also nur Umkehrungen der beiden vorigen $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ und $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$, welche dem Gehör in verschiednen Lagen dargestellt werden; und es sind außer diesen beiden Accorden keine andern dreistimmigen consonirenden Accorde möglich.

Man nennt einen solchen consonirenden Accord $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ oder $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$, der außer dem Grundton aus einer Terz und Quinte bestehet, einen Dreiklang, und zwar, wenn er die große Terz $\frac{5}{4}$ enthält, einen großen Dreiklang oder harten Dreiklang, wie auch Durdreiklang oder Duraccord; wenn er aber die kleine Terz $\frac{6}{5}$ enthält, einen weichen Dreiklang oder kleinen Dreiklang, wie auch Molldreiklang oder Mollaccord. Wenn man beide Dreiklänge mit einander vergleicht, so sieht man, daß sie beide aus einerlei Intervallen zusammengesetzt sind, nämlich aus einer großen und einer kleinen Terz $\frac{5}{4}$ und $\frac{6}{5}$, welche zusammen eine Quinte ausmachen; der einzige Unterschied ist der, daß bei dem harten Dreiklange erst die große und sodann die kleine Terz, und bei dem weichen Dreiklange erst die kleine und sodann die große Terz erscheint. Wenn man diese Dreiklänge so umkehrt, daß man die Terz als tiefsten Ton ansieht, so erhält man die vorerwähnten Accorde $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ und $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$, welche man Sextenaccorde nennt; wenn man aber die Quinte derselben als tiefsten Ton nimmt, erhält man die ebenfalls schon erwähnten Sext-Quarten-Accorde $1 : \frac{4}{3} : \frac{5}{3}$ und $1 : \frac{4}{3} : \frac{8}{5}$.

Die Erfahrung lehrt, daß jeder von diesen beiden Dreiklängen verschiedne Wirkung thut, und das Gehör durch den harten Dreiklang noch mehr, als durch den weichen befriedigt wird, unstreitig deßwegen, weil dessen Verhältnisse einfacher sind, nämlich in ganzen Zahlen ausgedrückt $4 : 5 : 6$, bei dem weichen aber $10 : 12 : 15$.

Der harte Dreiklang wird wegen der einfachern Verhältnisse am beßten dienen können, um die gewöhnliche Tonleiter, d. i. die sangbarste Reihe von Tönen zu finden, durch welche man von einem Grundtone zu seiner Octave fortschreiten kann, ohne das Gefühl des Grundtons zu verlieren. Wenn man den Grundton verdoppelt, so werden $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : 2$, sowohl wenn man diese Töne zusammen, als auch, wenn man sie nach einander hört, das vollständigste Gefühl des, durch die schicklichsten Consonanzen verstärkten, Grundtons erregen, es ist

aber diese Reihe von Tönen noch als keine Tonleiter anzusehen, weil die Fortschreitungen noch allzugroß und zu ungleich sind, und also noch mehrere Stufen dazwischen seyn müssen. Es wird also am schicklichsten seyn, solche Töne zwischen diese einzuschalten, welche mit den Consonanzen, die dem Grundtone die nächsten sind, den Dreiklang ausmachen. Der vorzüglichste Ton, welcher sich hiezu schickt, ist die Quinte $\frac{3}{2}$, welche unter allen Consonanzen das einfachste Verhältniß zum Grundtone hat. Giebt man also dieser Quinte $\frac{3}{2}$ wieder ihren harten Dreiklang, so erhält man die neuen Töne $\frac{3}{2} \times \frac{5}{4}$ und $\frac{3}{2} \times \frac{3}{2}$ oder $\frac{15}{8}$ und $\frac{9}{8}$. Die Tonleiter wird also zwei Stufen mehr haben, und wird nun aus folgenden Tönen bestehen $1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}, \frac{15}{8}, 2$. Diese Stufen sind aber noch viel zu ungleich; es wird also nothwendig seyn, zwischen jede der Stufen $\frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ und $\frac{3}{2} : \frac{15}{8}$, welche gegen die übrigen viel zu groß sind, noch einen Ton einzuschalten. Es schickt sich kein Ton besser dazu, um selbst eingeschaltet zu werden, und vermittelst des Dreiklangs, den man ihm giebt, die Tonleiter vollständig zu machen, als die Quarte $\frac{4}{3}$, welche nächst der Quinte $\frac{3}{2}$ am nächsten mit dem Grundtone verwandt ist, und zu 2 als der Octave desselben eben das Verhältniß hat, wie der Grundton zu seiner Quinte. Diese Quarte $\frac{4}{3}$, nebst der ihr zugehörigen Terz $\frac{4}{3} \times \frac{5}{4}$ oder $\frac{5}{3}$ werden die Intervalle $\frac{5}{4}$ zu $\frac{3}{2}$ und $\frac{8}{4}$ zu $\frac{15}{8}$ auf die vortheilhafteste Art theilen, und die ganze Tonleiter vollständig machen, welche also aus folgenden Tonverhältnissen, und wenn man gewöhnlichermaßen den Ton C als Grundton ansehen will, aus folgenden Tönen bestehen wird:

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, \underline{2.}$$

$$c, d, e, f, g, a, h, \overline{c.}$$

Es besteht diese Tonleiter aus 8 Stufen von verschiedner Größe; es ist nämlich die Stufe von dem dritten zum vierten, ingleichen die vom siebenten zum achten Tone ungefähr halb so groß, als jede der übrigen, daher man die kleinern Stufen *halbe Töne*, die größern *ganze Töne* nennt. Jedes Intervall benennt man in dieser sowohl, wie in jeder andern Tonleiter von der Stufe, auf welcher es sich, von dem tiefern Ton an gerechnet, befindet; will man aber das Verhältniß des Tons, von dem man ausgeht, zu einem tiefern Tone ausdrücken, so setzt man das Beiwort *Unter* dazu; z. B. d : c Untersecunde; $\overline{c}$: g Unterquinte, u. s. w.

Aus einer genauern Betrachtung der Tonleiter lernt man auch die meisten dissonirenden Intervalle kennen. (Sie sind in dem Verzeichniß S. 35 schon aufgeführt).

Ein *dissonirender Accord* wird jeder Accord genannt, der ein oder mehrere dissonirende Intervalle enthält, meistens enthält er nur eins. Derjenige dissonirende Accord, welcher als Ursprung der

übrigen angesehen werden kann, ist der Septimenaccord; er entsteht dadurch, daß einem Dreiklange noch eine Septime hinzugefügt wird, und ist auf mancherlei Art möglich. Durch Umkehrung wird daraus ein Sextquinten-Accord, ein Terz-Quart-Sexten-Accord, ein Secund-Sext-Quarten-Accord, auf eben so verschiedene Arten, wobei jedoch allemal der Ton, welcher ursprünglich als Septime anzusehen ist, er befinde sich, in welcher Lage er wolle, als Dissonanz behandelt werden, und eine Stufe unter sich gehen muß.

Die angegebene Tonleiter, wie überhaupt eine Tonleiter, in welcher alle Stufen aus ganzen Tönen und großen halben Tönen bestehen, nennt man eine diatonische Tonleiter, und eine Fortschreitung in Tönen, die zu einer solchen Tonleiter gehören, eine diatonische Fortschreitung; die kleinste derselben, nämlich der große halbe Ton $\frac{15}{16}$ wird auch bisweilen ein diatonischer halber Ton genannt. Die Mannichfaltigkeit erfordert, jeden Ton wieder als Grundton ansehen zu können. In diesen Fällen aber würde die diatonische Tonleiter c d e f g a h $\overline{c}$ nicht die nöthigen Fortschreitungen enthalten. Wenn man z. B. den Ton g als Grundton ansieht, und ihm seine diatonische Tonleiter g, a, h, c, d, e u. s. w. geben will, wird die Fortschreitung von der sechsten Stufe zur siebenten (von e bis f) nur einen großen halben Ton ($\frac{15}{17}$) betragen, da sie doch einen ganzen Ton betragen soll. Eben so, wenn man die diatonische Tonleiter des Tons d verlangt, wird dessen Intervall zu f und c nicht das rechte seyn. Dies hauptsächlich ist das Bedürfniß, was die Einschaltung kleinerer Intervalle durch Erhöhung und Erniedrigung der Töne der ursprünglichen diatonischen Tonleiter um den kleinen halben Ton $\frac{24}{25}$ nöthig macht, indem man hiedurch die richtigen Intervalle wo nicht erreicht, doch wenigstens zur Genüge sich ihnen nähert.

Eine Fortschreitung von einem Tone zu dem, welcher durch dessen Erhöhung oder Erniedrigung um einen kleinen halben Ton entsteht, oder umgekehrt, z. B. von c zu cis, es zu e nennt man eine chromatische Fortschreitung, und den kleinen halben Ton $\frac{24}{25}$, durch welchen eine solche Fortschreitung geschieht, bisweilen auch einen chromatischen halben Ton. Eine Fortschreitung von einem Tone, der durch Erhöhung entstanden ist, zu dem auf der nächsten Stufe, welcher durch Erniedrigung entstanden ist, oder umgekehrt, z. B. von cis zu des, wird eine enharmonische Fortschreitung genannt. Eine Tonleiter, die chromatische Fortschreitungen enthält, würde eine chromatische Tonleiter, eine, die enharmonische Fortschreitungen enthält, ein enharmonische Tonleiter, und der ganze

Inbegriff von natürlichen, erhöhten und erniedrigten Tönen eine diatonisch-chromatisch-enharmonische Tonleiter können genannt werden.

Wenn einem Grundtone der weiche Dreiklang, 1, $\frac{6}{5}$, $\frac{3}{2}$ gegeben wird, so läßt sich die, ihm alsdann zukommende, Tonleiter auf eben die Art finden, wie vorher bei der Tonleiter, die dem harten Dreiklange desselben zukommt, ist gezeigt worden; sie wird nämlich ebenfalls die Dreiklänge, welche der Quinte und Quarte desselben zugehören, enthalten müssen. Am schicklichsten wird es seyn, wenn diese auch weiche Dreiklänge sind. Wenn in der vorher erwähnten harten Tonleiter c, d, e, f, g, a, h, $\overline{c}$ die Unterterz von c, nämlich a als Grundton einer weichen Tonart angesehen wird, so enthält diese Tonleiter den weichen Dreiklang der Quinte e g h und der Quarte d f a, wir erhalten also mit jeder harten Tonleiter auch eine weiche. Wenn man nun a als den Grundton ansehen will, so wird die weiche Tonleiter desselben seyn a, h, c, d, e, f, g, $\overline{a}$, $\overline{h}$.

Nun verlangt aber das Gehör, daß zu Bezeichnung einer jeden harten und weichen Tonleiter die Stufe von dem siebenten zum achten Tone nur einen großen halben Ton betrage, besonders, wenn man aufwärts steigt, daher diese letztere Stufe der unterhalbe Ton der Tonart, oder auch die tonbezeichnende Stufe (subsemitonium modi, note sensible) genannt wird. Es muß also bei dem Aufsteigen die Quinte e ihre große Terz gis erhalten. Bei einer solchen Abänderung des g in gis würde aber die Stufe von dem sechsten zum siebenten Tone, f zu gis, als eine übermäßige Secunde, zu groß und zu wenig sangbar seyn, es wird also bei dem Aufsteigen in den meisten Fällen nöthig seyn, f in fis umzuändern; die weiche Tonleiter wird also aufsteigend meistens so müssen ausgeübt werden: a, h, c, d, e, fis, gis, $\overline{a}$. Im Absteigen aber wird die Tonleiter so bleiben können, wie sie ursprünglich ist, nämlich a, g, f, e, d, c, h, a, weil sie alsdann durch die, in ihren Dreiklängen enthaltenen, kleinen Terzen, und besonders durch die, zwischen der zweiten und dritten Stufe befindliche, Fortschreitung von einem halben Tone genugsam bezeichnet ist. In der Ausübung werden die Erhöhungen der sechsten und siebenten Stufe als zufällig betrachtet, und jedesmal, wenn es nöthig ist, besonders angemerkt.

Die weiche Tonleiter ist in ihrer Wirkung von der harten sehr verschieden und mehr dem Ausdrucke der Traurigkeit, die harte aber mehr dem Ausdruck der Freude angemessen.

Der ganze Inbegriff von Tönen, deren man sich bedienen kann, ohne das Gefühl einer Beziehung auf einen gewissen Grundton zu

verlieren, wird eine Tonart genannt, und zwar, wenn der Grundton die große Terz hat, und die Tonleiter so beschaffen ist, wie S. 46 gezeigt worden, eine harte Tonart oder Dur-Tonart (modus major); wenn er aber die kleine Terz, und also eine Moll-Tonleiter hat, eine weiche Tonleiter oder Moll-Tonart (modus minor). Gewöhnlich drückt man eine solche Tonart blos dadurch aus, daß man der Benennung des Tones das Wort dur oder moll anhängt, so heißt z. B. es dur die harte Tonart von es, b moll die weiche Tonart von b u. s. w. Wenn eine Tonart mehr oder weniger Erhöhungs- oder Erniedrigungszeichen, als die andre, hat, so sagt man, sie sind um so viel Grade von einander verschieden. Eine Moll-Tonart oder Dur-Tonart, die (nach S. 48) einerlei Tonleiter haben, werden parallele Tonarten genannt.

Die, aus den Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6, oder, weil die Verdoppelung einer Zahl die Natur der Tonverhältnisse nicht verändert, aus den Zahlen 1, 3, 5 entstandnen Intervalle würden einen großen Zuwachs erhalten, wenn man auch die Zahl 7 mit aufnehmen wollte. Doch würde dies nicht rathsam seyn, weil durch deren Verbindung mit so vielen andern schon vorhandnen Intervallen eine allzugroße Anzahl von neuen Tönen entstehen würde, so daß diese wegen ihrer Nähe gegen andre Intervalle sich weder gehörig würden fassen noch ausüben lassen. Noch mehr gilt dies von andern Primzahlen, wie 11, 13 u. s. w.

Fünftes Capitel.

Erörterung der verschiednen Verfahrungsarten, durch welche sich feste Körper in Schallschwingung versetzen, und die Arten ihrer dabei Statt findenden Bewegung ausmitteln lassen.

Gleich zu Anfange dieses Buchs wurde der Satz festgestellt, daß jeder feste Körper, der einen anhaltenden und vernehmlichen Ton wirklich hervorbringt, während der ganzen Dauer desselben mit großer Schnelligkeit schwingt; allein nicht alle Arten der Erschütterung eignen sich, den festen Körper in diesen Zustand zu versetzen. So z. B. vermag man keinen reinen und anhaltenden Ton aus einer Tafel von Holz hervorzulocken, wenn man auf ihre Oberfläche mit einem Lineal von Holz oder Metall schlägt; jeder solche Schlag bringt vielmehr nur verworrenes Geräusch von augenblicklicher Dauer hervor. Dessenungeachtet lassen sich aus einer solchen Tafel anhaltende, und selbst dem Gehör wohlgefällige, Töne locken, wenn man sie auf andre Arten erschüttert. Es wird mithin jetzt unerläßlich, zu erörtern, worin

diese Verfahrungsarten bestehen, und wo möglich die Umstände kenntlich zu machen, an welche das Gelingen derselben geknüpft ist.

Wird der feste Körper, den man in Schwingung versetzen will, von irgend einer Seite durch dünne Ränder begränzt, so läßt er sich gewöhnlich dadurch zum Tönen bringen, daß man entweder quer über diese Ränder mit einem, mit Colophonium bestrichenen, Violinbogen streicht, oder daß man ihren Umkreis der Länge nach mit einem Stück Filz oder glatten, mit Wasser getränkten, Leders reibt. Oft reichen schon befeuchtete Finger hin, diese Wirkung hervorzubringen, wie man sich überzeugen kann, wenn man damit die Ränder einer gläsernen Schale oder auch blos eines gewöhnlichen Trinkglases, das nur nicht zu dick seyn darf, reibt. In diesen angeführten Fällen, so wie überhaupt in allen, wo auf gleiche Weise der feste Körper durch eine, unmittelbar an einen seiner Theile angebrachte, Erschütterung in Schwingung versetzt wird, bemerkt man, daß die wesentliche Bedingung zur Hervorbringung des Tons nicht darin liegt, daß dem ganzen Körper, wie groß er immer seyn mag, eine gemeinschaftliche Bewegung mitgetheilt wird; sondern daß es genügt, in einigen seiner Theile oder auch nur in wenig Moleculen eine starke Erschütterung hervorzurufen, welche, indem sie vermöge ihrer eigenthümlichen elastischen Gegenwirkung zu ihrer ursprünglichen Lage zurückkehren, in sehr schnelle Schwingungen gerathen, durch die die benachbarten Molecule in Bewegung gesetzt werden; diese bringen nun für ihr Theil wieder ihre Nachbarmolecule in Schwingung; und so pflanzt sich die Bewegung durch die ganze Masse fort, nach den Verhältnissen der Intensität und Schwingungsperioden, welche durch die Verbindungsweise der, die Masse ausmachenden, Theilchen bedingt werden.

Man kann aber auch einen festen Körper in tönende Schwingung versetzen, ohne, scheinbar wenigstens, die Erschütterung unmittelbar auf ihn einwirken zu lassen; wenn man ihn nur durch innige Berührung in Verbindung mit einem andern Körper setzt, den man unmittelbar sollicitirt. So z. B., wenn man auf die Ränder einer gläsernen Schale und senkrecht auf die Richtung ihrer Oberfläche, mit Siegellack eine kleine, ganz feine Röhre von Glas oder Metall, acht bis zehn Centimeter lang, befestigt, und diese Röhre der Länge nach mit befeuchteten Fingern reibt, so geräth sie in eine Schwingungsbewegung, die sich zum Gefäße fortpflanzt, und dasselbe genau oder fast genau den nämlichen Ton geben läßt, den man daraus hervorgelockt haben würde, wenn man sie unmittelbar mit einem Bogen gestrichen hätte. Eben so kann man eine Scheibe von Glas, von Holz, von Metall oder jedem andern festen Körper in Schwingung versetzen, indem man auf irgend einer Stelle seiner Oberfläche eine kleine Glas-

röhre befestigt und diese ihrer Länge nach reibt. Dies Verfahren, gegenwärtig bei Versuchen über die tönenden Schwingungen der festen Körper von beständiger Anwendung, ist die Erfindung eines jungen Physikers in Grenoble, Namens Blanc. Den Vorgang dabei begreift man leicht, wenn man erwägt, daß die Durchschnitte der angefügten Röhre, welche mit dem festen Körper in unmittelbarer Berührung sind, so bald sich die ursprüngliche Erschütterung bis zu ihnen fortgepflanzt hat, eine örtliche Erschütterung in der Stelle der Oberfläche dieses Körpers, auf welcher sie angebracht sind, bedingen müssen; daß sie somit durch ihre Pulsationen das, an dieser Stelle befindliche, Element des Körpers in Bewegung versetzen, und zu periodischen Schwingungen, gleich denen, in welchen sie selbst begriffen sind, veranlassen müssen. Diese Betrachtungsweise führt demnach im Grunde diese ganze Wirkung auf die unmittelbare Erschütterungsweise zurück, die wir zuerst in Betracht zogen, abgerechnet, daß die Dauer der Schwingungen, welche der zunächst erschütterte Körper macht und fortpflanzt, ohne Zweifel durch die Beschaffenheit des Systems, dem er die Erschütterung mittheilt, und mit welchem in Verbindung er zu schwingen genöthigt ist, modificirt wird.

Nach denselben Grundsätzen kann man auch der angefügten Röhre einen Streifen Glas substituiren, über den man quer mit einem Bogen streicht. Hat dieser Streifen die gehörige Länge und Dicke, so geräth er dadurch in Schwingung und theilt diese dem Körper mit, mit dem er in Verbindung gesetzt worden ist.

Bald werden wir durch die Erfahrung belehrt werden, von welcher Art und Beschaffenheit die Töne sind, die mittelst der angegebnen Verfahrungsarten aus den verschiedenen festen Körpern, je nach ihrem Stoffe, ihrer Gestalt und der Art, wie sie erschüttert werden, hervorgelockt werden können. Für jetzt gebe ich diese Kenntnisse blos vorläufig als Thatsachen, mit denen man bekannt seyn muß, um die festen Körper so behandeln zu können, daß sie musikalisch vergleichbare Töne geben.

Aus demselben Grunde wird auch die Anführung eines erfahrungsmäßigen Kennzeichens erforderlich, welches für alle schwingenden Bewegungen fester Körper seine Anwendung findet, und die Einsicht in die verwickelten Erscheinungen, welche von ihnen abhängen, ausnehmend erleichtert. Man kann nämlich die Richtung dieser Schwingungsbewegungen unter zwei Hauptumständen nachweisen und anschaulich darstellen, einmal, wenn die Oberflächen der schwingenden Körper in einer, auf ihre Berührungsebene senkrechten, das andremal, wenn sie in einer, damit parallelen, Richtung schwingen. Allerdings läßt sich denken, oder es ist vielmehr für gewiß anzunehmen, daß die Schwin-

gungsbewegungen der Oberflächen auch nach allen andern, als den beiden erwähnten, Richtungen von Statten gehen können; allein selbst dann lassen sie sich noch ansehen als hervorgehend aus der Zusammensetzung zweier Bewegungen von ungleicher Intensität, deren eine senkrecht auf die Oberfläche, die andre in ihrer Berührungsebene vor sich geht; so daß die, diesen beiden Fällen eigenthümlichen, Kennzeichen immer noch in der Untersuchung Licht geben können. Auf ähnliche Weise lassen sich in der Statik jeder Kraft zwei, auf einander rechtwinkliche, Seitenkräfte substituiren. Schon diese Zurückführung zeigt uns, wie wichtig es seyn muß, das wirkliche Vorhandenseyn der beiden, eben erörterten, auf einander senkrechten Schwingungsrichtungen ausmitteln zu können. Man erreicht diesen Zweck auf eine ganz einfache Weise. Ist die Bewegung der Oberfläche normal (senkrecht auf sie), so braucht man nur successiv jeden Theil derselben in eine horizontale Lage zu bringen, und etwas feinen und trockenen Sand darauf zu streuen. Die Sandkörner, welche auf den, in Bewegung gerathenden, Theilen liegen, werden immerfort vertical in die Höhe geworfen, und hüpfen auf der Oberfläche mit außerordentlicher Lebhaftigkeit. Da aber die Oberfläche, von der sie aufwärts geworfen werden, sich im Schwingen krümmt, und in mehrere Theile von abwechselnd entgegengesetzter Krümmung so zu sagen faltet, so erhalten sie den Impuls von derselben immer in einer etwas schiefen Richtung, und fliegen in einem parabolischen Bogen nach den geraden oder krummen Linien, welche die Gränzen zwischen den abwechselnden Aus- und Einbiegungen der Oberfläche ziehen. Hält man also den Ton einige Augendlicke hindurch aus, so suchen alle die kleinen Sandkörner auf diesen Linien ihre Zuflucht, indem sie sonst nirgends einen Ruheort finden, und machen so die Gestaltung derselben sichtbar. Der Erfinder dieses sinnreichen Mittels ist Galilei, wie aus dem ersten Tage seiner Dialogen über die Bewegung erhellt. Allein es gerieth wieder in Vergessenheit bis auf die Zeit, wo Chladni die Entdeckung desselben, so zu sagen, erneuerte, indem er es auf eine große Zahl von Versuchen über die Schwingungen elastischer Scheiben anwandte, von denen wir bald Gelegenheit haben werden, zu sprechen.

Ein ganz analoges Mittel dient zur Kenntlichmachung der Fälle, wo die Oberfläche des Körpers nach einer tangentialen Richtung schwingt. Streut man in diesem Fall Sand auf die Oberfläche, so sieht man zwar auch noch die kleinen Körner sich auf einer gewissen Zahl gerader oder krummer Knotenlinien sammeln, wo sie in Ruhe bleiben; allein beim Hinfliehen zu diesen Ruhelinien verlassen sie keineswegs die schwingende Fläche, sondern gleiten nur auf derselben hin. Diese Art der Bewegung fällt so deutlich in die Augen und un-

terscheidet sich dabei so auffallend von der Bewegung nach der Normalrichtung, daß keine Verwechslung mit derselben möglich ist. Denn auf einer Glasscheibe von zwei Metern, die man in der Mitte hält und deren eine Hälfte man der Länge nach zwischen zwei Stücken feuchten Tuchs reibt, wird das nämliche Sandkorn zuweilen successiv auf eine Weite von sieben bis acht Decimetern fortgeführt, indem es auf der Scheibe in einer, mit ihrer Oberfläche durchaus parallelen, Richtung hingleitet. Diese Erscheinung, die theils an sich von Wichtigkeit ist, theils solche durch den Nutzen erhält, den sie bei Untersuchung der Schwingungsbewegungen gewähren kann, wurde zuerst von Felix Savart bemerkt, der sie benutzte, eine große Menge besondrer, bis dahin unbekannter, Eigenthümlichkeiten dieser Bewegung bemerkbar zu machen und ihre nähern Umstände zu untersuchen.

Jetzt, da wir im Besitz von Verfahrungsarten sind, die Schwingungsarten in den festen Körpern auszumitteln und kenntlich zu machen, schreiten wir zur Untersuchung dieser Schwingungen selbst. Um die Darstellung dieser Erscheinungen auf einfachere Ausdrücke zu bringen werde ich, nach Savart's Beispiel, die verschiednen Arten der Schwingungsbewegung durch die Benennungen normal, tangential und schief bezeichnen, je nach der Richtung, welche den Sandkörnern durch die Oberflächen der schwingenden Körper ertheilt wird. Ich muß jedoch erinnern, daß ich den Gebrauch dieser Benennungen nicht weiter als auf die materiellen Molecule, aus welchen die Oberflächen der erschütterten Körper bestehen, ausdehne; ohne damit behaupten zu wollen, daß die nämliche Art der Bewegung sich auch auf alle die Theilchen, welche das Innere dieser Körper ausmachen, erstrecke; eine Folgerung die sehr häufig falsch seyn würde, und in den Fällen, wo sie wirklich Statt hat, nur durch Erfahrungsbeweise dargethan werden kann.

Sechstes Capitel.

Schwingungen fester Stäbe, sowohl gerader, als gekrümmter.

Die geraden festen Stäbe, z. B. aus Stahl oder aus Glas, können, wie die Saiten, transversal oder longitudinal schwingen; allein die Gesetze ihrer transversalen Schwingungen weichen sehr von denen der Saiten ab, weil in letztern die Spannung nur nach der Längenrichtung wirkt, dagegen in den festen Platten und im Allgemeinen in den starren Flächen die Spannkraft auf die Krümmung selbst wirkt. Das Nämliche gilt nicht für die longitudinalen Schwingun-

gen, bei welchen die elastische Gegenwirkung der materiellen Theilchen in den Saiten und den Stäben gleich wirkt, wenigstens wenn man beide als unendlich dünn annimmt. Nach diesen vorläufigen Betrachtungen wollen wir nun die beiden Schwingungsarten nach einander untersuchen, deren die geraden Stäbe fähig sind. Zuerst wenden wir uns zu den Transversalschwingungen.

Es ist zuvörderst zu bemerken, daß der Stab schon vermöge seiner Starrheit in Spannung erhalten wird, ohne erst, wie die Saiten, eine unveränderliche Befestigung an seinen beiden Enden nöthig zu haben, um in Schwingung versetzt werden zu können. Das eine dieser Enden kann befestigt, das andre frei seyn; oder auch eins kann sich blos gegen eine feste Ebene stützen, während das andre völlig fest oder frei ist u. s. f. Durch die verschiedne Anordnung dieser Umstände, die man nach Belieben abändern kann, erhält man eben so viel verschiedne Arten der Bewegung, die die Analyse durch Rechnung findet, und die Beobachtung als vollkommen in der Erfahrung gegründet nachweist.

Zur Anstellung dieser Versuche hat man Stäbe nöthig, welche gerade, cylindrisch oder platt, dabei aber homogen und von gleichförmiger Dicke sind. Soll eins der Enden unveränderlich fest seyn, so spannt man es in einen Schraubstock ein. Soll es sich blos gegen einen Widerhalt stemmen, so drückt man es gegen eine feste Fläche an. Um einen Stab in Schwingung zu versetzen, reibt man ihn der Quere nach mit einem, leicht mit Colophonium bestrichenen, Bogen; und, will man Schwingungsknoten, wie in den Saiten hervorbringen, so bewerkstelligt man dies, indem man auf einen der Puncte, welche in Ruhe bleiben sollen, leicht mit dem Finger, oder besser, mit der Kante einer festen Platte drückt. Bringt man auf solche Weise platte Streifen zur Schwingung, so läßt sich die Art, wie sie sich bei den verschiednen Schwingungsarten, durch welche sie verschiedne Töne geben, abtheilen, zum Augenschein bringen. Man braucht zu diesem Zweck blos ihre Oberfläche mit feinem und trocknem Sande zu bestreuen. Alle, durch die Schwingungsbewegung in Flucht gesetzten, Körner sammeln sich auf den Schwingungsknoten, wo keine Bewegung Statt hat. Den nämlichen Erfolg erhält man an cylindrischen Stäben, wenn man kleine Ringe von ganz dünnem und leichtem Papier daran reiht.

Bei jeder der vorigen Anordnungen können, wie bei den schwingenden Saiten, mehrere Schwingungsarten erfolgen; je nachdem der Streifen nur eine einzige Krümmung gegen die geradlinige Axe bildet, oder sie in mehrern Puncten schneidet, Fig. 15 — 19. Allein das Verhältniß der Töne zu der Anzahl der Krümmungen ist hier ein andres, als bei den schwingenden Saiten, wegen der verschiedenen

Wirkungsart der Spannkraft in beiden; und die Töne steigen hier in einem weit raschern Verhältniß zur Zahl der Unterabtheilungen des Stabes. Die Theorie bestimmt diese Verhältnisse, und die Erfahrung findet sie vollkommen bestätigt. Ueber das Nähere dieser Vergleichung kann man sich aus meinem größern Werke unterrichten; hier begnüge ich mich, die hauptsächlichsten Resultate anzuführen. Vergleicht man unter einander Stäbe aus demselben Stoff, die sich blos in ihrer Dicke und Länge unterscheiden, so verhält sich die Schwingungszahl bei gleicher Schwingungsart direct wie die Dicken derselben und umgekehrt, wie die Quadrate ihrer Längen. Sind auch die Längen gleich, so bleibt blos noch das Verhältniß der Dicken übrig, welchem zufolge die dicksten Stäbe die höchsten Töne geben. Dies rührt daher, daß die Spannkraft mit der Dicke schneller als die Masse zunimmt, wodurch die Schwingungen beschleunigt werden müssen. In Stäben von demselben Stoff und ähnlicher Gestalt, die sich mithin in der Dicke zu einander eben so wie in der Länge verhalten, stehen die Zahlen, welche die Töne ausdrücken, im umgekehrten Verhältniß der homologen Dimensionen; mithin im umgekehrten Verhältniß der Cubikwurzeln der Gewichte; indem sich hier die Gewichte, wie die Cuben der Dimensionen verhalten. Endlich hat bei transversaler Schwingung und Anwendung der Verfahrungsarten, wie wir sie voraussetzten, die Breite der Streifen oder Stäbe keinen Einfluß auf die Töne, die sie geben *).

Die geraden elastischen Stäbe können auch, wie die Saiten, nach der Richtung ihrer Länge schwingen. Um durch diese Schwingungsart die Töne in größtmöglicher Stärke hervorzubringen, muß man den Stab zwischen den Fingern fest halten, mit einem Stück feuchten Tuchs umgeben und der Länge nach damit reiben. Hiezu ist erforderlich, ihn noch an irgend einem andern Punct der Unterstützung halber zu berühren; die Stelle, wo dies geschieht, wird zu einem Schwingungsknoten. Ueberhaupt erhält man die verschiedenen Unter-

---

*) Zusätze. Ein Stab kann in sechs Fällen verschiedne Progressionen von transversalen Schwingungsarten annehmen. 1) Wo ein Ende des Stabes fest, das andre ganz frei ist, verhält sich der erste (tiefste) Ton zum zweiten, wie das Quadrat von 2 zum Quadrat von 5. Von der zweiten Schwingungsart an gerechnet, verhalten sich die Töne, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. 2) und 3) Wo ein Ende des Stabes an einen festen Gegenstand angestemmt, das andre ganz frei ist, deßgleichen, wo ein Ende des Stabes ganz fest und das andre nur angestemmt ist, kommt die Folge der Töne mit den Quadraten der Zahlen 5, 9, 13, 17 u. s. w. überein. 4) und 5) Wo beide Enden des Stabs frei, deßgleichen wo beide ganz fest sind, kommt die Reihenfolge der Töne mit den Quadraten der Zahlen 3, 5, 7, 11 u. s. w. überein. 6) Wenn beide Enden angestemmt sind, kommt die Folge der Töne mit den Quadraten der natürlichen Zahlenfolge 1, 2, 3 u. s. w. überein (Chladni Ak. §. 80 u. ff.)

abtheilungen des Stabs in aliquote Theile auf die nämliche Weise, als bei allen vorhergehenden Versuchen, indem man einen oder mehrere der Puncte, welche unbeweglich bleiben sollen, berührt, und das Reiben um die Mitte eines der, in Schwingung zu versetzenden, Theile vornimmt. Die Zahlwerthe der Töne folgen der nämlichen Reihe als die der Längenschwingungen der Saiten, d. h. sie stehen im umgekehrten Verhältniß mit den Längen; und die Höhe der Töne ist ebenfalls sehr bedeutend in Verhältniß zu der, welche transversale Schwingungen bei gleichen Längen hervorbringen: es wird deßhalb erforderlich, sehr lange Stäbe anzuwenden, um sie noch vernehmlich zu erhalten. Uebrigens lassen sich die Umstände der ursprünglichen Bewegung auf die nämliche Weise abändern. Der erste oder tiefste Ton wird erhalten, wenn man den Stab in seiner Mitte zwischen den Fingern faßt und eine seiner Hälften nach dem freien Ende zu reibt. Bezeichnet man die Schwingungszahl für diesen ersten Ton mit 1, so werden die Schwingungszahlen für alle übrigen Töne, welche sich durch denselben Stab hervorbringen lassen, seyn: 1, 2, 3, 4, . . n; so daß, wenn der erste Ton C ist, die andern seyn werden c, g, $\overline{c}$, e, $\overline{c}$ *). Ein Stab von Glas oder Metall, von zwei Metern Länge, giebt die ersten sechs Töne von C bis $\overline{\overline{c}}$ in hinlänglich gemäßigter Höhe, daß sie dem Ohre vollkommen vernehmlich sind. Man muß indeß die Vorsicht beobachten, wenn man Glasstäbe anwendet, sie nicht in zu starke Schwingung zu versetzen; widrigenfalls sie sehr leicht springen würden, was insbesondere dann leicht geschieht, wenn man das feuchte Tuch, nachdem man es in einer Richtung bewegt hat, schnell nach der entgegengesetzten zurückführt. Wahrscheinlich hängt dies Springen davon ab, daß die successiven Ausdehnungen oder Zusammendrückungen der Glastheilchen stärker werden, als sich mit ihrer Cohäsion verträgt. Man vermeidet diesen Uebelstand, indem man an ein Ende des Stabes und in der Richtung seiner Verlängerung eine kleine Glasröhre anlöthet, und an dieser das Reiben vornimmt. Diese kleine Röhre bringt durch ihre Pulsationen den Stab zum Mitschwingen, vermag aber wegen ihrer geringen Masse nicht, die, ihm eigenthümlichen, Schwingungsarten merklich zu verändern, so daß man diesen blos an

---

*) Diese Tonfolge nach den natürlichen Zahlen hat der Stab nur, wenn er ganz frei, oder an beiden Enden befestigt, longitudinal schwingt; außerdem kann er aber auch noch, an einem Ende befestigt, in longitudinale Schwingung versetzt werden, indem man ihn der Länge nach in einer nicht allzugroßen Entfernung von dem freien Ende streicht. Hier verhält sich die Reihenfolge der Töne, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. (Chladni Ak. §. 92.).

den unbeweglich zu machenden Puncten zu berühren hat, um ihn in die verschiednen Schwingungsarten zu versetzen, deren er fähig ist.

Wie wir so eben gesehen, ist die Reihenfolge der Töne die nämliche bei den starren Stäben als bei den Saiten, im Fall beide der Länge nach schwingen. Dies scheint dem ersten Anblick nach eine natürliche und nothwendige Folgerung aus ihrem gemeinschaftlichen Grundzustande zu seyn. Beim Stabe wie bei der Saite kann man sich, wenn beide cylindrisch sind, vorstellen, als würde die Longitudinalbewegung erst blos einem Durchschnitt eingepflanzt, der ihn dann zu allen übrigen fortpflanzte, vermöge seiner elastischen Gegenwirkung, welche ihn nach seinem Ruhepunct zurückführt. Nach dieser Betrachtungsweise kann, wenn der Stab und die Saite beide vollkommen cylindrisch sind, ihre Dicke keinen Einfluß auf die Töne haben, die sie durch ihre Längenschwingungen hervorbringen, da es sich von selbst zu verstehen scheint, daß alle Theile eines und desselben Durchschnitts sich zugleich und unter einander parallel bei jeder Schwingung bewegen müssen. In der That bestätigt die Erfahrung die Unabhängigkeit der Töne von der Dicke der Stäbe. Allein der Parallelismus der Durchschnitte scheint nicht Statt zu haben, wenigstens nicht innerhalb der Gränzen der Dicke, welche die Stäbe haben müssen, wenn sie noch starr seyn sollen. Hierauf scheinen die Zahl und die Anordnung der Knotenlinien zu deuten, welche sich auf ihrer Oberfläche bilden, und die man durch Hülfe von Sand sichtbar machen kann; denn diese Linien entsprechen keineswegs denen, die der Parallelismus der Durchschnitte, auf die Reihenfolge der beobachteten Töne angewandt, ergeben würde. Diese wichtige Bemerkung ist zuerst von Savart gemacht worden.

Unter allen Arten der Längenschwingung, in die ein und derselbe starre Streifen gerathen kann, giebt es eine, die man die freiwillige (spontané) nennen könnte, weil sie jeder Streifen gleichsam von selbst annimmt. Man bringt sie hervor, wie Savart gezeigt hat, indem man den Streifen in seiner Mitte leicht mit den Fingern faßt, und ihn an seinen Enden in der Richtung seine Länge mit einem Schlüssel oder sonst einem andern festen Körper schlägt. Hat man nun vorher Sand auf seine Oberfläche gestreut, so bildet sich eine gewisse Reihe von Knoten, die bei jedem Streifen sich immer gleich bleibt, mag man an das eine oder das andre Ende desselben schlagen. Aber, was noch bemerkenswerther ist, kehrt man den Streifen um, so daß seine obere Fläche zur untern, die untere zur obern wird, bestreut diese neue Oberfläche mit Sand, und schlägt abermals an ein Ende des Streifens an, so ordnet sich der Sand zwar wieder auf eine bestimmte und für beide geschlagene Enden gleich bleibende Weise an;

allein die Vertheilung der Knotenlinien wird eine ganz andre, als für die erste Oberfläche seyn. Dies findet Statt, der geschlagene Reifen mag aus Glas, Holz, Metall oder sonst einem andern festen Stoff bestehen. Ferner, wenn seine Dicke wenigstens 2 bis 3 Millimeter beträgt, so wechseln die Knotenlinien auf beiden Oberflächen ab, so daß eine, auf der einen Oberfläche befindliche, Knotenlinie jedesmal der Mitte eines schwingenden Theils der andern gegenüber liegt. Es scheint hienach, als ob in solchen Streifen, ungeachtet sie sich für alle unsre Prüfungsmittel als homogen ergeben, doch eine Ungleichartigkeit der beiden Oberflächen Statt fände, so daß sie gewissermaßen eine Vorder- und eine Kehrseite hätten, die durch die verschiedene Art, wie sie sich abtheilen, bemerklich werden.

Die Art, wie sich auf solche Weise jeder Stab, oder vielmehr jede Fläche von selbst abtheilt, ändert sich nach der Stelle ab, an welcher man sie mit den Fingern berührt, um sie fest zu halten. In allen Fällen hört man nur einen einzigen vernehmlichen Ton, welcher der, durch die Berührung bedingten, Hauptabtheilungsart des Stabes entspricht. Jedoch deutet die Vielfachheit der Knotenliniem darauf hin, daß zugleich andre Töne entstehen, deren Schwingungen schneller, als die des vernommenen Tons geschehen. Nicht unwahrscheinlich dürfte die Annahme seyn, daß die unvernommenen Töne lauter Glieder der Tonreihe, welche der Stab hervorzubringen vermag, darstellen, aber vom Ohr nicht wahrgenommen werden können, entweder weil sie zu hoch oder weil sie zu schwach sind, oder auch, weil sie mit dem tiefsten Tone so verschmelzen (se marient), daß sie mit ihm nur Eine Empfindung hervorbringen.

Um zu entdecken, welcher Bezug die, auf den Gegenflächen eines und desselben Streifens sich bildenden, Knotenlinien verknüpft, wiederholte Savart seine Versuche hierüber mit Streifen, deren Breite und Dicke verstatteten, die Gestalt der Knotenlinien auf jeder ihrer vier Seitenflächen successiv zu untersuchen; indem er sie sämmtlich der nämlichen Art longitudinaler Erschütterung unterwarf. Zu diesem Behuf löthete er an eins der Enden des Streifens ein dünnes, einige Decimeter langes, Glasstäbchen, durch dessen Reibung die Schwingung erregt wurde: daß die Erschütterung sich nicht einmal anders, als das andremal verhielt, ließ sich an dem Gleichbleiben des erfolgenden Tons erkennen. Er verzeichnete nun successiv die Richtung der Knotenlinien, die sich bei Erschütterung des Streifens auf seinen vier Seitenflächen bildeten, und fand dabei, daß sie in einander überliefen, so daß sie um jeden Streifen eine fortlaufende Spirallinie bildeten. Die Richtung ihrer Windungen und der Zwischenraum zwischen denselben bleibt sich in jedem Streifen für den nämlichen Ton

gleich; ändert sich aber in dem Maße, als man die verschiednen Töne nach einander hervorbringt, deren der Streifen fähig ist. Diese Art, die Erschütterung durch ein längliches Stäbchen mitzutheilen, ist von so mächtiger Wirkung, daß eine einfache Glasröhre hinreicht, die ganze Masse eines sehr dicken Balkens in Schwingung zu versetzen, und augenblicklich Knotenlinien darauf zu erzeugen. Man braucht nur die Röhre bis zu einer Tiefe von einigen Centimetern in eine Oeffnung von ungefähr dem nämlichen Durchmesser, die an einem Ende des Balkens angebracht ist, zu stecken, und mit Siegellack so darin zu befestigen, daß sie fest an seiner Masse adhärirt. Durch kunstreiche Abänderung dieser so energischen Verfahrungsart, ist Savart dahin gelangt, sie selbst auf einen Papierstreifen anwendbar zu machen, und so auch hier den Gegensatz der Knotenlinien auf den beiden Oberflächen zum Vorschein zu bringen, Fig. 20. Zu diesem Zweck spannt Savart den Papierstreifen L aus, indem er seine beiden Enden auf zwei Bretchen von Fichtenholz SP, S'P' leimt, die mit einander parallel und senkrecht auf ein Bret von festerer Masse PP befestigt sind. Um ihn in Schwingung zu versetzen, streicht er mit einem Bogen über das Ende S oder S' eines der beiden Endbreter; und wenn es ihm glückt, einen reinen Ton daraus hervorzulocken, so ordnet sich der, auf den Streifen gestreute, Sand sogleich in Knotenlinien an, die auf beiden Oberflächen desselben eine entgegengesetzte Richtung haben, wie man sich überzeugen kann, wenn man den Versuch mit dem nämlichen Apparat noch einmal wiederholt, nachdem man ihn nur zuvor so umgekehrt hat, daß der Papierstreifen gegen die Erdoberfläche die umgekehrte Lage annimmt. Zweckmäßig ist es, damit die Erscheinung besser in die Augen falle, daß der Sand, der immer sehr fein und trocken genommen werden muß, eine andre Farbe als der Papierstreifen habe, z. B. blau sey, wenn dieser weiß ist. Auch darf man dessen nur sehr wenig auf die Oberfläche des Streifens streuen; sonst würde bei der geringen Masse, die derselbe hat, seine Bewegung leicht dadurch gehindert und mithin in ihren Gesetzen abgeändert werden.

Die Analogie, welche zwischen den Tönen Statt findet, die man durch starre cylindrische Stäbe erhält, und denen, die die cylindrischen, in den Röhren der Blasinstrumente enthaltenen, Luftsäulen geben, gestattete, nach dem Ton der erstern die Zeit zu bestimmen, welche der Ton braucht, sich in ihrer ganzen Länge durch die Substanz, aus der sie bestehen, fortzupflanzen. Auf diese Weise hat Chladni die Geschwindigkeit des Tons in einer großen Menge fester Substanzen ausgemittelt. Seine Resultate stimmen ganz mit denen überein, die Laplace auf dem Wege der Theorie fand, so wie

auch mit den, oben angeführten, Beobachtungen über die unmittelbare Fortleitung des Schalls durch das Gußmetall. Endlich hat Savart auch Gelegenheit gehabt, sie in Bezug auf Glasstäbe bestätigt zu finden. Man kann sich nach diesen Zeugnissen auf ihre Richtigkeit verlassen; und muß es als einen glücklichen Umstand ansehen, daß man zum Besitze neuer beweisender Thatsachen für dieselben zu gelangen vermocht hat; indem sonst die, zuvor unbekannte, Verwicklung der Bewegungen, welche bei den Längeschwingungen der starren Stäbe Statt haben, gegründete Zweifel gegen die vorausgesetzte Analogie zwischen diesen Schwingungen und denen der Luftsäulen erregen könnte, eine Analogie, auf die man die Berechnung der Schallgeschwindigkeit in den festen Stoffen, aus denen die Stäbe bestehen, gegründet hat. Endlich sind auch, nach Chladni, die geraden Stäbe noch einer andern Schwingungsart fähig, welche dieser Physiker die drehende nennt, die man aber vielleicht richtiger die spiralförmige nennen würde. Bei Erörterung der Wirkung, welche das Drehen auf elastische Drähte hat, fanden wir, daß ein solcher Draht, wenn er um eine gewisse Anzahl Grade gedreht wird, zu seiner ursprünglichen Lage zurückzukehren strebt, und wirklich wieder zu derselben durch eine Folge von Oscillationen zurückkommt, wenn man ihn sich selbst überläßt. Ferner ergab sich uns, daß, bei gleichen Spannungen und Längen, die Oscillationsgeschwindigkeiten wie die Quadrate der Durchmesser der Drähte zunehmen. Nimmt man nun anstatt eines ganz dünnen Drahts einen cylindrischen Stab, der dick und steif genug ist, um sich von selbst erhalten zu können, wenn er an einem seiner Puncte festgehalten wird, so werden die, durch seine Drehung veranlaßten, Schwingnngen hinlänglich rasch werden können, um einen Ton hervorzurufen. Diese Vorstellung hat man sich von den spiralförmigen Schwingungen zu machen.

Bisher haben wir nur die geraden starren Stäbe in Betracht gezogen. Eine krumme Gestalt derselben wird begreiflich auf die Art der Bewegungen, deren sie fähig sind, und mithin der Töne, die sie hervorbringen, von Einfluß seyn müssen. Auch ist dem wirklich so, wie sich in meinem größern Werke erörtert findet. Hier beschränke ich mich auf ein einziges Beispiel, das nämlich der gekrümmten Stäbe, welche man Stimmgabeln (diapasons) nennt, und die zur Regulirung des Tons der musikalischen Instrumente dienen. In Fig. 20 bis ist ihre Gestalt dargestellt. Die beiden Arme AC, A′C′ derselben stehen an ihrer Basis CC′ etwas weiter aus einander, als an ihren Enden A und A′. Zwischen sie bringt man einen Metallcylinder FF, der bei CC′ frei eintreten kann, durch AA′ aber nicht anders austreten, als indem er die beiden freien Enden der Gabel mit Gewalt auseinander drängt.

Wenn er zwischen sie durchgetreten ist, so schnellen die Arme wieder gegeneinander, und gerathen so in Schallschwingung. Immer auf die nämliche Weise erschüttert geben sie auch immer den nämlichen Ton, wodurch man eine unveränderliche Richtschnur erhält, nach der sich der Ton jedes beliebigen Instruments reguliren läßt, indem man im Einklange mit ihm die der Tasten oder Noten des Instruments stimmt, welche in den Abmessungen die nämliche Stelle einnehmen soll. Die hiezu bestimmten Gabeln haben an ihrer Basis eine Verlängerung, M, die eine Art Fuß bildet, auf dem sie gerade gestellt werden können, welches erlaubt, sie, wenn sie in Schwingung versetzt sind, auf den Kasten des Instruments, oder sonst eine Resonanztafel zu stellen, welche durch ihre entsprechenden Schwingungen den Ton verstärkt. In diesem Fall sieht man die Stimmgabeln, wenn ihr Fuß etwas breit ist, auf der Resonanztafel vermöge der Gegenwirkung von deren Bewegungen hüpfen; und wenn diese wiederholten Stöße sich hinlänglich schnell folgen, welches von dem Ton abhängt, den die Stimmgabel giebt, so entsteht hieraus ein vernehmlicher secundärer Ton, der stets tiefer, als der Hauptton ist. Die einfache, so eben beschriebene, Stimmgabel vermag nur einen einzigen Ton hervorzubringen; man hat jedoch auch zusammengesetzte, die aus mehreren, auf der nämlichen Resonanztafel nebeneinander aufgestellten, Gabeln bestehen, welche den zwölf Halbtönen entsprechen, die zusammen die ganze Abmessung nach der Art der Temperatur, die man gewählt hat, ausmachen sollen. Will man nun ein Instrument stimmen, so bringt man zuerst mit den Tönen der Stimmgabel alle Töne der entsprechenden Abmessung auf dem Instrument in Einklang, worauf alle andern Töne aus diesen durch Stimmen nach dem Intervall der Octave, das ausnehmend leicht zu fassen ist, hergeleitet werden. Auf diese Art erspart man sich alle Mühe, die man anzuwenden hätte, um die erlangte Temperatur unmittelbar am Instrumente zu verwirklichen. Allerdings würde diese Mühe viel geringer ausfallen, wenn man sich eines verticalen Monochords bedienen wollte, auf welchem sich ebenfalls jeder Ton mittelst einer eingetheilten Scale in völliger Schärfe hervorbringen läßt; jedoch sind nicht alle Liebhaber der Musik im Stande, die Zahlen dieser Scale mit jedem Temperatursystem durch Rechnung in Beziehung zu setzen, während nichts leichter fällt, als die, von der Stimmgabel hervorgebrachten Töne wieder zu geben. Es verdient bemerkt zu werden, daß diese Apparate, wenn sie durch die geschicktesten Stimmer verfertigt wurden, genau nach der gleichschwebenden Temperatur regulirt sind; wovon man sich durch das Monochord überzeugen kann. Beim Gebrauch derselben muß man die Vorsicht nicht vergessen, jede Gabel für sich schwingen zu lassen, und ihren

Schwingungen durch Berührung mit der Hand Einhalt zu thun, wenn man den Ton, den sie angeben soll, gestimmt hat. Denn die gleichzeitigen Schwingungen mehrerer naheliegenden Töne würden sehr widrige Dissonanzen hervorrufen, und durch ihr zufälliges Zusammentreffen zu Combinationsschlägen Anlaß geben, wie S. 28 auseinandergesetzt wurde. Die zusammengesetzte Stimmgabel bietet selbst ein sehr einfaches Mittel dar, diese Erscheinung zu bewähren.

Man hat von der Schwingung der elastischen Stäbe eine Anwendung auf die Verfertigung eines musikalischen Instruments, welches den Namen Trochleon führt, gemacht. Eine ausführliche Beschreibung desselben findet man in meinem größern Werke, und seine Kenntniß erregt um so mehr Interesse, da man in ihm die vollständigste Anwendung aller, auf diese Schwingungsart bezüglicher, Resultate vereinigt sieht.

Siebentes Capitel.

Schwingungen, in welche die starren und biegsamen Körper gerathen, wenn sie nach allen ihren Dimensionen erschüttert werden.

Die Schwingungen der Saiten und geraden Stäbe sind bis jetzt unter den starren Körpern die einzigen, über deren Bewegungsgesetze und Tonverhältnisse uns der Calcul hat Aufschluß zu geben vermocht; weshalb auch von ihnen ausführlicher die Rede gewesen ist. In den andern Fällen, wo die Körper nach allen ihren Dimensionen betrachtet werden müssen, können wir uns blos der Erfahrung als Führerin überlassen; und durch sie sind wir bis jetzt zu einer kleinen Zahl allgemeiner Thatsachen gelangt, deren Erörterung hier folgt.

Im Allgemeinen theilt sich jedes starre System beliebiger Gestalt, wenn es in Schwingungen, gleichviel ob transversale oder longitudinale, die einen anhaltenden Ton zur Folge haben, geräth, in eine gewisse Anzahl Theile ab, die jeder für sich schwingen ohne einander hinderlich zu seyn, und in jedem Augenblick in abwechselnd entgegengesetzter Bewegung begriffen sind. Die Puncte demnach, in welchen diese Theile aneinandergränzen, nehmen weder an der einen noch an der andern Bewegung Antheil, bleiben mithin unbeweglich; welches sich auf horizontalen Flächen durch Bestreuen derselben mit feinem trocknen Sande bemerklich machen läßt, indem sich dieser auf den Knotenlinien sammelt. Die Möglichkeit einer solchen Ab-

theilung und einer solchen, einer gemeinschaftlichen Periode unterliegenden, Abwechselung in der Bewegung, scheint die wesentliche Bedingung zu seyn, von welcher alle Schwingungsarten abhängen, deren ein starres System, je nach den Umständen, in die es anfänglich versetzt wird, fähig ist; und, lassen sie sich auch nicht im Voraus bestimmen, so kann man sie doch, wenn sie einmal dagewesen sind, wieder hervorbringen, indem man auf den Knotenlinien leichte Hindernisse anbringt, und mit dem Bogen über einen der, in Schwingung zu versetzenden, Theile streicht. Ungeachtet dieser Vorsichtsmaßregeln indeß findet man sich manchmal in seiner Erwartung getäuscht, weil die nämlichen Theile von Knotenlinien mehrern verschiednen Schwingungsarten zugehören können; so daß man, um gerade die bezweckte zu erhalten, eben so wie bei den Saiten, die Bestimmung der Puncte, welche in Ruhe bleiben sollen, vervielfältigen muß.

Als die einfachsten starren Systeme, die man dieser Untersuchung unterwerfen kann, bieten sich nach den Stäben die ebenen Flächen dar. Man hat selbst für diesen Fall den Vortheil, noch einige Hülfe im Calcul zu finden, weil die Bewegungen dieser Oberfläche an eine Differentialgleichung geknüpft sind, welche Poisson zuerst nachgewiesen hat, und durch welche man eine allgemeine Beziehung erhält, der sie immer Genüge leisten müssen. Man hat sich zu dieser Art von Versuchen verschiedengestalteter Scheiben von Glas oder Metall, die so viel als möglich gleich dick und von gleichförmiger Dichte seyn müssen, zu verschaffen. Aus letzterm Grunde ist das Fensterglas dem Spiegelglas vorzuziehen, weil dies, wegen seiner größern Dicke, noch größere Ungleichheiten in der innern Anordnung seiner Theile zuläßt; und selbst Scheiben von dünnem Fensterglas sind nicht immer ganz frei von diesem Mangel. Um nun den Scheiben, welcher Art sie immer seyn mögen, einen Stützpunct zu geben, der ihnen als Widerhalt diene, ohne die Freiheit ihrer Bewegungen im mindesten zu beschränken, kneipt man sie zwischen den Fingern zusammen, indem man dieselben auf eine der Linien, welche in Ruhe bleiben sollen, legt; oder was noch zweckmäßiger ist, man befestigt, wie Savart gethan, an einem ihrer Puncte ein kleines ganz dünnes Holzstäbchen mit hartem Mastix oder mit Siegellack, und hält sie daran, wie an einer Art Handgriff, Fig. 21. Um sie nun zur Bewegung zu bestimmen, reibt man sie mit einem Bogen an ihren Rändern, die deshalb zuvor abgerundet und mit Schmirgel glatt geschliffen seyn müssen. Um die Knotenlinien zum Vorschein zu bringen, bestreut man die Scheibe mit feinem und trocknem Sande, wie schon oben erwähnt.

Bei viereckigen Scheiben von Glas, Metall oder überhaupt einem homogenen festen Stoffe entspricht die, Fig. 22 vorgestellte, Klang-

figur dem tiefsten Ton, den die Scheibe geben kann. Sie wird durch zwei gerade Linien gebildet, die durch die Mitte der Scheibe mit ihren Rändern parallel laufen. Man erhält sie, indem man die Scheibe in der Mitte einklemmt, wenn sie nicht durch ein Stäbchen gehalten wird, und nahe an einer Ecke streicht. Die vier geraden Linien dieser Figur können sich manchmal in vier krumme verwandeln, welche sich von der Mitte einer Seite zur Mitte der anstoßenden krümmen.

Der Ton, welcher dem vorigen in der Tiefe am nächsten steht, entsteht bei der Klangfigur Fig. 23, in welcher die Knotenlinien dem Lauf der Diagonalen der Scheibe folgen. Um sie zu erhalten, klemmt man die Scheibe in ihrer Mitte ein, wenn sie frei ist, und streicht mit dem Bogen an der Mitte einer Seite. Bei diesem Verfahren ist es unmöglich, daß sich in dieser Mitte eine Knotenlinie, wie in voriger Klangfigur, bilden; vielmehr entstehn dieselben in den Winkeln, symmetrisch zu beiden Seiten des gestrichenen Punctes. Der so erhaltene Ton ist die Quinte des ersten.

Dem Ton, den man am leichtesten auf einer kreisförmigen Scheibe erhält, entspricht eine Klangfigur der Art, daß sich die Scheibe in vier gleiche Sectionen abtheilt, die durch zwei, auf einander rechtwinkliche, Durchmesser geschieden sind, Fig. 24. Man bestimmt die Scheibe zu dieser Schwingungsart, indem man mit dem Finger irgend einen der Puncte des Umkreises der Scheibe berührt, durch den einer der Durchmesser gehen soll, während man mit dem Bogen, in einer Entfernung von 45° von diesem Punct streicht.

Durch Abänderung der Gestalt der Scheiben und der Stellen, wo man sie mit dem Bogen streicht, lassen sich noch viel andre Klangfiguren erhalten, z. B. Systeme von geraden Parallelen, Fig. 25, wie auch Kreise und Hyperbeln. Das Erwähnte reicht indeß hin, die Möglichkeit dieser Erscheinungen begreiflich zu machen. Ausführlichere Auseinandersetzungen enthält mein größeres Werk.

Alles dies gilt blos für Scheiben von homogener Beschaffenheit. Klar ist, daß in einer Scheibe, die nach verschiednen Richtungen eine ungleiche Elasticität besäße, die Schwingungsarten, und mithin auch die Klangfiguren Abänderungen erleiden müßten. Dies hat Savart auf eine sehr sinnreiche Weise in der Erfahrung nachgewiesen, indem er den Scheiben von Glas oder von Metall Holzscheiben substituirte, deren Ebene der Längenrichtung ihrer Fasern parallel war. Die Schwingungsarten dieser Scheiben unterscheiden sich von den vorigen in mehrern Umständen, die offenbar davon abhängen, daß ihre elastische Gegenwirkung viel stärker in der Richtung ihrer Fasern als in ihrer queren Richtung ist. Ist z. B. die Gestalt dieser Scheiben kreisför-

mig, so erhält man zwar auch die Abtheilung in vier gleiche Kreisausschnitte wie in den homogenen Scheiben, wobei auch der, ihr entsprechende, Ton die nämliche Stelle in der Reihenfolge der Töne einnimmt; allein die Richtung der Durchmesser ist nicht mehr frei, wie in den homogenen Scheiben, vielmehr folgt einer derselben stets der Richtung der Fasern, und dies so bestimmt, daß es nicht einmal nöthig ist, den Finger an den Umkreis der Scheibe zu legen, um die Bildung der Knotenlinie an dieser Stelle zu bedingen; sie bildet sich schon von selbst vermöge der Wirkung der ungleichen Elasticität. Ueberdies entspricht diese Art der Unterabtheilung nicht dem tiefsten der Töne, deren die Scheibe fähig ist. Denn Savart bringt an ihr noch zwei tiefere hervor, bei deren einem die Scheibe sich in zwei Halbkreise scheidet, die durch einen einzigen Durchmesser getrennt sind, der unbestimmt jede Richtung haben kann; während bei dem andern, noch tiefern, sich nur ein einziger, in der Mitte der Scheibe gelegener, Schwingungsknoten bildet, in welchem sich der Sand anhäuft. Denkbar wäre indeß, daß dieser letztre Ton von der Gegenwirkung des Stäbchens herrührte, an welchem die Scheibe gehalten wird, und daß die Schwingungsart, welche ihn giebt, dem ganzen System aus Stäbchen und Scheibe, nicht aber letztrer allein angehörte.

Man hat auch Untersuchungen über die Töne angestellt, die sich durch ausdehnsame, flächenförmig ausgespannte Membranen (Häute, Felle), dergleichen die, über Trommeln jeder Art gespannten, sind, hervorbringen lassen. In allen diesen Fällen wirkt die Elasticität auf die Fasern der Membran durch die Ausdehnsamkeit, nicht durch die Spannung derselben, d. h. sie wirkt nach der Richtung der Fläche, um sie zusammenzuziehen oder auszudehnen, nicht nach der Richtung ihrer Krümmung, um sie gerade zu machen oder zu beugen. Wie aber vermag man eine so gespannte Membran in solche Erschütterungen zu versetzen, daß sie die verschiednen Töne, deren sie fähig ist, giebt, und die entsprechenden Schwingungsarten annimmt. Dies ist eine Schwierigkeit, die Savart auf die glücklichste Weise gelöst hat, indem er nahe an der gespannten Membran eine feste Scheibe in Schwingung versetzt, die sie an keiner Stelle unmittelbar berührt, und mit einem Bogen gestrichen wird. Die, der Luft von der Scheibe mitgetheilten, Schwingungen pflanzen sich zu der Membran fort und bringen sie zum Mitschwingen. Allein die Einsicht in die Resultate, die man auf solche Art erhält, wird nicht wohl eher möglich, als bis man sich eine vollständige Belehrung über die Gesetze der Mittheilung der Bewegung verschafft hat; deswegen sparen wir das Nähere über diesen Gegenstand späteren Erörterungen auf.

Nach den Schwingungen der ebenen Flächen, sind nun diejenigen

elastischer Körper von minder einfacher Gestalt in Betracht zu ziehen. Unsre ganzen Kenntnisse über diesen Gegenstand beschränken sich indeß auf die Bedingungen der Symmetrie, die wir zu Anfange dieses Capitels aufgestellt haben. Unter dieser Menge von Erscheinungen, die eben so mannichfaltig als die Gestalten der Körper, von denen sie hervorgebracht werden, selbst sind, kann man die Schwingungen der Gefäße ausheben, deren innere und äußere Flächen als durch Umdrehen um die nämliche Axe erzeugt angesehen werden können, weil deren Schwingungsart bei den Glocken und dem musikalischen Instrumente, welches den Namen der Harmonika führt, ihre Anwendung findet. Ausführlicher von letztrer habe ich in meinem größern Werke gehandelt.

Alle schwingenden Körper lassen außer ihrem tiefsten Tone zugleich noch eine unendliche Reihe von Tönen, deren Stärke stufenweise abnimmt, hören. Diese Erscheinung kommt mit der der harmonischen Töne bei den Saiten überein; allein das Gesetz der Reihenfolge der harmonischen Töne ändert sich nach der verschiednen Gestalt der Körper ab. Sollte nicht auf dieser Verschiedenheit das eigenthümliche charakteristische Merkmal des Tons, was man seinen Klang (timbre) nennt, beruhen, nach welchem man unterscheiden kann, von einem was für gestalteten Körper er hervorgebracht wurde, und wonach z. B. der Ton einer Saite und der eines Gefäßes in uns nicht dieselbe Empfindung hervorrufen? Sollte nicht in der stufenweisen Abnahme der Stärke der harmonischen Töne jeder Reihe der Grund liegen, warum wir Accorde aus dem Inbegriff derselben angenehm finden, die uns unerträglich scheinen würden, wenn die in ihnen enthaltenen Töne gleich stark wären? sollte nicht endlich der eigenthümliche Klang, den jeder Körper, wie Holz und Metall, hat, von dem Vortönen eines oder des andern harmonischen Tons herrühren?

Zusätze zu vorigem Capitel, namentlich über die Klangfiguren.*)

Folgendes sind im Allgemeinen die Gesetze, nach welchen eine jede Scheibe schwingt, tönt, und Klangfiguren bildet. Sie beziehn sich zunächst auf eine freie Scheibe, doch scheinen sie auch für die Fälle zu gelten, wenn (so weit das die Gestalt der Scheibe erlaubt) ihre Enden oder Ränder fest, oder nur etwas beweglich sind.

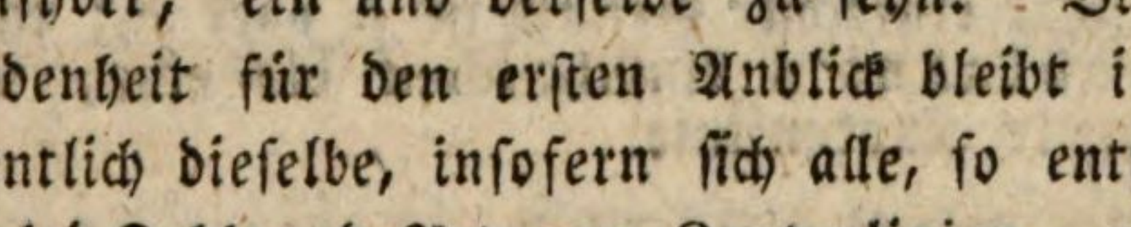
---

*) Ausgezogen aus Gilb. Physik; Chladnis Akustik u. desselben neuen Beiträgen zur Akustik.

1) Eine jede Scheibe kann verschiedne Töne hervorbringen, indem sie sich auf mannichfaltige Weise in freie, gleichzeitig schwingende, Theile abzutheilen vermag. Ein solcher freier Theil schwingt nie allein, sondern immer nur zugleich mit den andern, und je zwei an einandergränzende schwingen stets nach entgegengesetzten Richtungen. Die Schwingungszeiten dieser Theile hängen aber von dem Abstande der Stellen ihrer größten Excursionen von den, den Theil begränzenden, Knotenlinien ab, und nicht von der bloßen Größe des Theils; und da diese Stellen mannichfaltig gestaltet seyn können (rund, länglich, mit Bauchungen u. s. w.), und sich in den Theilen, welche am Rande liegen, nahe an diesem befinden, so sind die Theile, in welche eine Scheibe sich im Schwingen abtheilt, häufig von verschiedener Größe; von Knotenlinien rings umschlossene sind immer nahe 2 oder 4 mal so groß, als Theile am Rande, je nachdem diese von Knotenlinien nur nach zwei oder selbst nur nach einer Seite zu begränzt werden, und je nachdem ihr Schwingungsmittelpunct liegt; und selbst nach allen vier Seiten zu von Knotenlinien umgränzte Theile sind nur bei völlig ähnlicher Gestaltung und in ganz regelmäßig gebildeten Klangfiguren von gleicher, bei Verzerrungen der Figur dagegen oft von ziemlich ungleicher Größe.

2) Zu jedem reinen Tone der Scheibe gehört eine regelmäßige Klangfigur, und sie erscheint nicht eher, als bis man diesen bestimmten Ton rein hört. Verrückt man dann die Stellen, wo man die Scheiben hält, ein wenig, so zeigen sich häufig mannichfaltige Veränderungen oder Verzerrungen der Klangfigur, ohne daß der Ton aufhört, ein und derselbe zu seyn. Bei aller auffallenden Verschiedenheit für den ersten Anblick bleibt indeß dabei die Klangfigur wesentlich dieselbe, insofern sich alle, so entstandene, dann immer auf einerlei Zahl und Art von Knotenlinien, und dadurch eine auf die andre zurückführen lassen; indem z. B., Fig. 1.

Fig. 1.

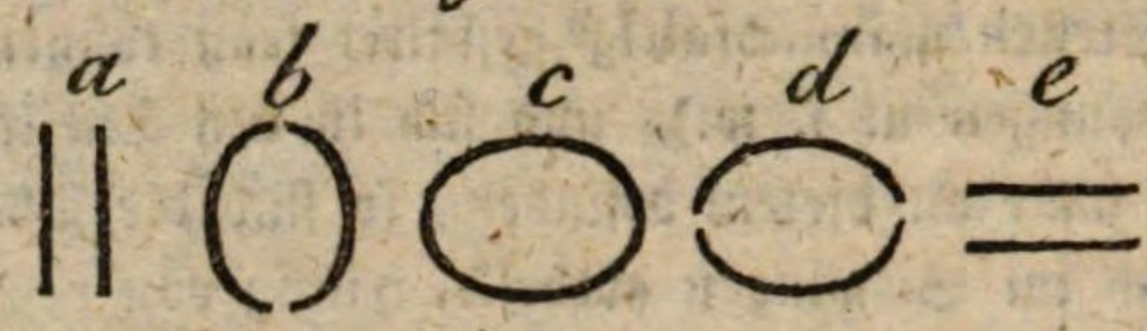


gerade Linien, wie a, sich krümmen und schlängeln wie b, bis sie zusammenstoßen und zu gebrochnen oder scheinbar sich durchschneidenden

Linien werden, wie c, oder selbst in ihrer vorigen Gestalt in einer auf ihrer vorigen senkrechten, Lage wieder erscheinen d, e; oder indem eine Linie am Rande der Scheibe sich aus g in h und i verändert.

Diese Biegungen der geraden Linien können auch nach außen convex sich bilden wie in Fig. 2.

Fig: 2.



Anmerkung. Ein Beispiel der Abänderung oder Verzerrung einer Klangfigur auf einer Quadratscheibe giebt Fig. 3.

Fig: 3.

Die fünf, daselbst abgebildeten Klangfiguren sind bloße Abarten einer und derselben Klangfigur, mit drei Knotenlinien in der Richtung ihres einen, und keiner in der Richtung ihres andern Randes. Ihre einfachste Gestalt ist A oder E; in der dritten, C, sind nach Chladni's Ansicht abcd die eine, aecf die zweite, gehf die dritte Knotenlinie.

3) Bei allen Arten von Scheiben, von welcher Gestalt sie auch seyn mögen, haben alle mögliche Klangfiguren Beziehung auf Linien, die quer hindurch gehen, oder Linien, die mit der Circumferenz oder mit Theilen derselben parallel gehen. Wenn die Figuren selbst auch noch so sehr verworren sind, lassen sie sich doch bei gehöriger Zurückführung der Verzerrungen immer auf Linien dieser Art reduciren, und die Tonverhältnisse aller Schwingungsarten darnach ordnen. So bestehn z. B. alle möglichen Klangfiguren einer runden frei schwingenden Scheibe aus Diametrallinien und Kreislinien; an einer halbrunden aus Radien und Halbkreisen; an einer Rectangelscheibe, wohin auch Quadratscheiben gehören, aus Linien, die mit einer oder der andern Dimension derselben parallel gehen.

Anmerkung. Chladni hat eine einfache Bezeichnung für die Knotenlinien, die sich nach jeder Richtung auf einer Rectangel- oder

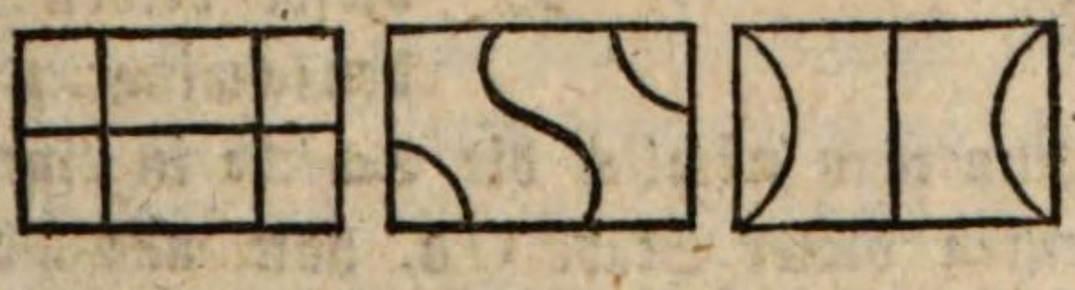
Quadratscheibe zeigen, eingeführt; indem er bei jeder Schwingungsart die Zahlen der Knotenlinien, welche nach der einen und nach der andern Richtung gehen, durch einen senkrecht dazwischen gesetzten Strich unterscheidet. So wird z. B. 3 | 0 die Schwingungsart bedeuten, wo nach einer Richtung drei Linien gehen, und nach der andern keine, S. Taf VI. Fig. 25, 1 | 1 die Schwingungsart, wo jeder Richtung eine Knotenlinie parallel geht, Taf. VI. Fig. 22. u. s. f. Auf ähnliche Weise bezeichnet er bei runden Scheiben jede Schwingungsart so, daß die Zahl der durchgehenden Linien von der Zahl der concentrischen Kreise durch einen dazwischen gesetzten senkrechten Strich unterschieden, und zwar erstere mit gewöhnlichen Ziffern vor dem Strich, letztere mit römischen Ziffern hinter denselben gesetzt werde; so wird z. B. 2 | 0 die Schwingungsart bedeuten, wo nur allein zwei durchgehende Linien vorhanden sind, 4 | III die, wo vier durchgehende Linien und drei Kreise vorhanden sind, u. s. w.

Man sagt daß Klangfiguren zu einerley System von Schwingungen gehören, wenn sie nach derselben Richtung eine gleiche Anzahl von Knotenlinien haben.

4) Die Töne aller derjenigen Klangfiguren, die zu einerlei System von Schwingungen einer Scheibe gehören, bilden eine regelmäßige Folge, indem sie nach bestimmten Tonverhältnissen fortschreiten, deren Gesetze nach Verschiedenheit der Gestalt der Scheiben verschieden und mehr oder minder zusammengesetzt sind. Umgekehrt lassen sich zu Tönen derselben Reihenfolge einer Scheibe immer Klangfiguren darstellen, welche zu einerlei System von Schwingungen gehören. Oefters kommt indeß derselbe Ton in zwei verschiednen Tonfolgen der Scheibe vor; in diesem Fall entsprechen ihm zwar zwei wesentlich verschiedne Klangfiguren, zwischen diesen findet dann aber immer ein, auf der Scheibe nachzuweisender Uebergang von der einen in die andre Statt, durch mehrere, beiden ähnliche, Abarten dieser Klangfigur.

Anmerkung. Beispiel. Auf einer rechteckigen Scheibe, deren Seiten sich zu einander, wie 2 : 1 verhalten, gehört zu den Klangfiguren 2 | 1 und 3 | 0 einerlei Ton; und sie gehn durch zwei Klangfiguren von demselben Tone, in denen die rechten Winkel der erstern sich in Krümmungen, und diese wieder in gerade Linien umgestalten, eine in die andre über, wie Fig. 4 zeigt.

Fig. 4.



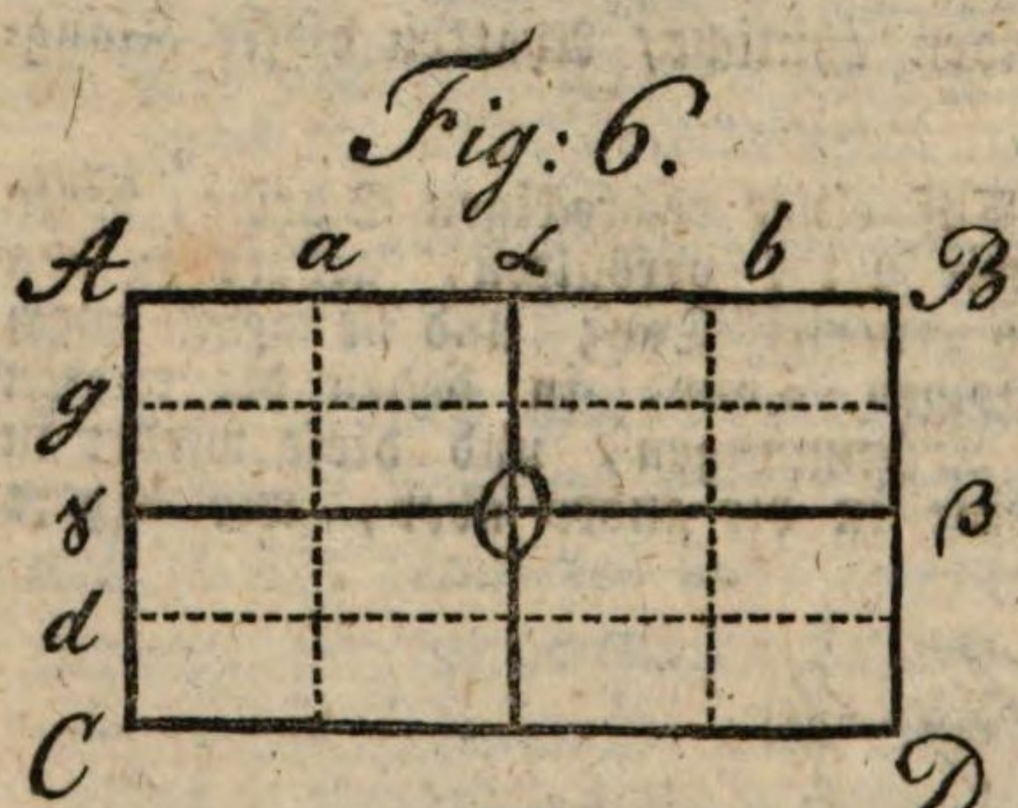
Eben so gehört zu den Klangfiguren auf einer rechteckigen Scheibe, deren Seiten sich zu einander, wie 6 zu 5 verhalten, einerlei Ton. Ihren Uebergang durch Abarten von gleichem Ton stellt Fig. 5 dar.

Fig: 5.

6) Zwei Scheiben von gleicher Materie, Dicke, Gestalt und Größe geben bei übereinstimmenden Schwingungen nicht nur einerlei Ton, sondern auch sich deckende Klangfiguren, die, wenn man mehrere an einander legt, z. B. 4 gleiche quadratische, oder 2 halbkreisförmige, zusammen eine einzige regelmäßige Klangfigur bilden. Sind zwei solche Scheiben blos in der Größe oder blos in der Dicke verschieden, so haben sie zwar einerlei Tonfolgen und ähnliche Klangfiguren, aber die Schwingungszeiten übereinstimmender Schwingungen verhalten sich im ersten Fall wie die Quadrate ähnlich liegender Linien beider Scheiben, oder einer übereinstimmenden regelmäßigen Klangfigur in beiden; im zweiten, wie die Dicken der beiden Scheiben. Bei Verschiedenheit der Gestalt sind weder die Tonfolgen, noch die Klangfiguren mit einander vergleichbar und befolgen ganz verschiedne Gesetze.

Jetzt zu einigen Gesetzen der Schwingungen **vierseitiger rechteckiger Scheiben.** Eine solche läßt sich, Fig. 6., als aus unendlich vielen, gleich langen, parallel neben einander liegenden Stäben betrachten, sowohl nach der Richtung des längern Randes A B, als nach der des kürzern Randes A C, und kann so in Schwingungen versetzt werden, daß sie allein nach der Länge eines dieser beiden Systeme von Stäben schwingt, z. B. allein nach der Richtung A B, wenn man nämlich die Scheibe in einem Schwingungsknoten des mittelsten dieser Stäbe O β, hält und am Ende desselben, in β, mit dem Bogen streicht. So kann die Scheibe alle Schwingungsarten und dazu gehörige Tonfolgen eines Stabes zeigen, nach den Verschiedenheiten, ob das Ende frei, fest oder angestemmt ist; und

Fig: 6.



bei völlig regelmäßigen Schwingungen sind dann ihre Knotenlinien gerade, mit dem Endrande A C parallele, Linien (bei dem tiefsten dieser Töne einer freyen Scheibe zwey, a und b in $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Länge der Scheibe, bei der folgenden, 3, 4, 5 u. s. w.) und die Excursionen jedes für sich schwingenden Theils geschehen in flachen, cylinderartigen Wölbungen. Ganz auf ähnliche Weise läßt sich die Scheibe nach der Richtung ihres kürzern Randes mit Knotenlinien in g und d in stabartige Schwingungen versetzen.

Blos bei diesen stabartigen Schwingungen (0 | 2; 0 | 3; 0 | 4 u. s. f.) der *vierseitigen* rechteckigen Scheiben sind die Folge der Töne und die Klangfiguren von dem Verhältnisse unabhängig, worin die beiden Seiten der Scheibe zu einander stehn, und erstre entspricht, wenn die Scheibe frei schwingt, stets den Schwingungsverhältnissen der Quadrate der Reihe der ungeraden Zahlen von 3 an; $3^2 : 5^2 : 7^2$ u. s. w.

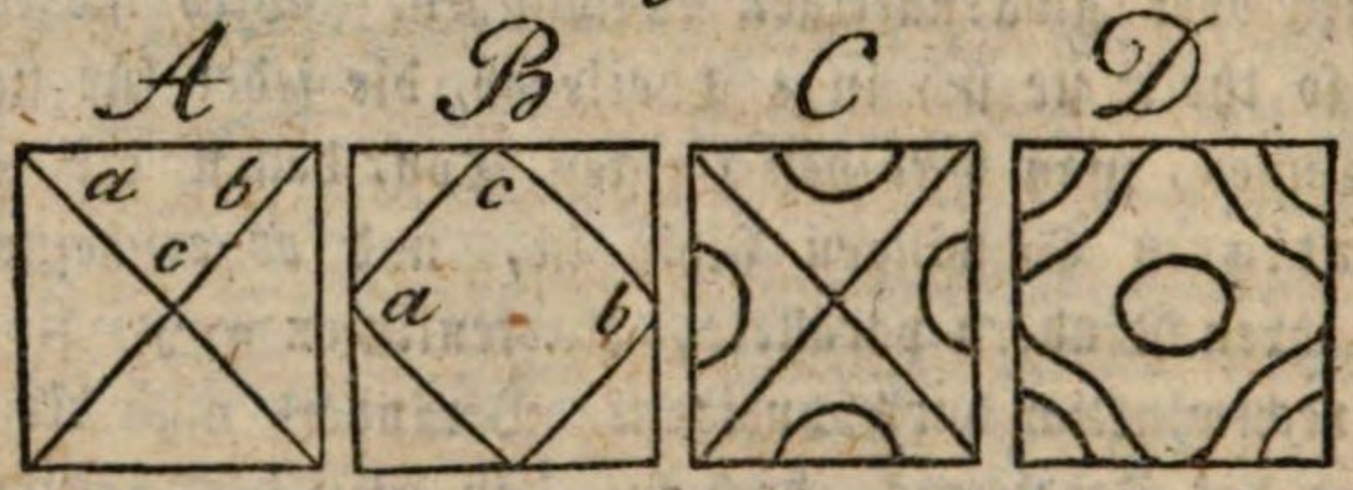
Wird dagegen die Scheibe in ihrer Mitte O gehalten, so kann sie weder parallel mit dem einen, noch mit dem andern Rande stabartig schwingen, da ein völlig freier Stab keiner Schwingung mit einem einzigen Schwingungsknoten fähig ist, und streicht man sodann am Rande, nur nicht in α oder β mit dem Bogen, so kommt sie in Schwingungen nach zwei Dimensionen zugleich mit Excursionen in schalenartigen oder glockenartigen Wölbungen. Wird sie in a oder b gestrichen, so theilt sie sich in 4 Theile ab, die jeder für sich auf diese Art schwingen, man hört den tiefsten Ton, dessen die Scheibe bei *flächenartigem* Schwingen fähig ist, und es erscheinen auf ihr zwei, mit ihren Rändern parallele, Knotenlinien α, β, die sich in ihrer Mitte rechtwinklich durchschneiden. Verändert man die Stelle des Haltens und des Streichens, doch so, daß man die Scheibe in einem Puncte der Linie β hält, so lassen sich Klangfiguren zwar noch mit einer einzigen Knotenlinie β in der Richtung des längern Randes A B, aber mit 2, 3, 4 u. s. w. Knotenlinien in der Richtung des kürzern Randes A C erhalten, und diese Schwingungen bilden ein System für sich, dessen Töne nach einem andern Gesetze als bei blos stabartigen Schwingungen auf einander folgen. Und so lassen sich nach der Richtung A B 2 oder 3 oder 4 u. s. w. parallele Knotenlinien mit jeder Zahl von Knotenlinien nach der Richtung A C darstellen.

Ein besonders bemerkenswerther Umstand bei den Schwingungen von *Quadratscheiben*, ohne dessen gehörige Kenntniß sich weder die Klangfiguren, noch die, ihnen zukommenden, Tonverhältnisse genau bestimmen lassen, ist die *wesentliche Verschiedenheit* der Schwingungsarten, wo die *Summe der Linien*, die nach beiden Richtungen gehen, eine *gerade* Zahl ist, von denen, wo sie *ungerade* ist. Nur die Schwingungsart n | n, wo nach der einen Rich-

tung so viele Linien gehen, wie nach der andern, macht hievon eine Ausnahme.

In den Fällen, wo die Summe der Knotenlinien eine gerade Zahl ist, d. i., wenn nach der einen sowohl, als nach der andern Richtung eine gerade, oder eine ungerade Zahl von Linien; (mit Ausnahme von n | n), geht, sind zwei, nicht als Abarten sondern als wesentlich verschieden anzusehende Schwingungsarten vorhanden, je nachdem die Biegungen der äußern Linien, deren Anzahl hier allemal einer ganzen Zahl, 1, 2, 3, u. s. w. gleich ist, einwärts oder auswärts gehen, und also die Figur bei derselben Zahl von Linien entweder mehr concav oder mehr conver ist. Im erstern Falle ist allemal der Ton tiefer, als im zweiten. Diese Schwingungsarten (n | n auch in dieser Hinsicht ausgenommen) können schlechterdings an einer regelmäßigen Scheibe nie mit lauter geraden Linien erscheinen; vielmehr sind die Gestalten, wo die meisten Linien am stärksten gekrümmt, oder wohl ganz diagonal gerichtet sind, und welche nach allen Richtungen betrachtet, am meisten symmetrisch sind, als die regelmäßigsten anzusehen. Als Beispiel mag Fig. 7 dienen.

Fig: 7.



Nach der gewöhnlichen Theorie sollte 2 | 0 (Fig. A, B) als die einfachste Schwingungsart im System der Schwingungen 2 | 0, 2 | 1, 2 | 2 u. s. w. so beschaffen seyn, daß zwei gerade Linien nach einer Richtung giengen, und die Scheibe ihre Schwingungen so machte, wie ein freischwingender Stab bei seiner einfachsten Schwingungsart. Das Tonverhältniß müßte mit 9, als dem Quadrate von 3 übereinkommen. Eine solche Schwingungsart findet aber schlechterdings nicht Statt, sondern die Natur spaltet diese, nur in der Einbildung mögliche, Schwingungsart, und giebt an deren Stelle zwei; die eine (A) mit einer einwärts gehenden Biegung (acb) der Linien, die andere (B) mit einer auswärts gehenden (acb), oder die eine Figur concav, die andre conver gegen die Ränder der Scheibe; A giebt einen tiefern, B einen höhern Ton. Das wahre Verhältniß der Quadratzahl liegt näher bei dem tiefern Ton, den die concave Figur giebt, als bei dem höhern, so wie auch bei andern doppelt vorhandnen Schwingungsar-

ten das mittlere Verhältniß dem tiefern Tone näher zu liegen scheint, als dem höhern. Den Abstand der Töne von A und B fand Chladni nicht an allen Scheiben gleich; er änderte sich vielmehr mit dem Verhältnisse der Größe und Dicke der Scheibe ab; an kleinen Scheiben war er nur um etwas weniger größer, als ein ganzer Ton und geringer als eine kleine Terz. Bei C und D betrug der Unterschied beinahe einen halben Ton.

Die, hier für Quadratscheiben erörterte, doppelte Schwingungsart findet auch bei länglich viereckigen Statt, doch vermochte Chladni noch nicht, das allgemeine Gesetz anzugeben, nach welchem sich hier die Ordnung der doppelt vorhandenen Stufen richtet: indem das, für die Quadratscheiben aufgefundne, Gesetz hier nicht mehr gültig ist, nach welchem, wie erwähnt, zwei verschiedne Schwingungsarten auf den Stufen vorhanden sind, wo die Summe der, nach beiden Richtungen gehenden, Knotenlinien eine gerade Zahl ist, (mit Ausnahme von n | n).

Jetzt Einiges von den Schwingungsarten runder Scheiben. Bei den Schwingungen einer runden Scheibe zeigen sich die Knotenlinien entweder so, daß sie von einer Stelle des Randes zur andern in geraden oder krummen Richtungen gehen, oder als concentrische Kreise, die in manchen Fällen zirkelrund sind, meistens aber eine gewisse Anzahl von Biegungen annehmen.

Die Klangfiguren mit durchgehenden Linien, ohne Kreise, zeigen sich sternförmig, wenn die Linien gerade sind, und sich in der Mitte der Scheibe durchschneiden; es können aber die Linien auch ihre Lage verändern, sich krümmen, und auf mannichfaltige Arten trennen und verbinden, wodurch aber weder ihre Zahl, noch das Tonverhältniß verändert wird.

2 | 0, Taf. VI. Fig. 24, wo zwei durchgehende Linien sich kreuzförmig durchschneiden, giebt unter allen Schwingungsarten den tiefsten Ton. Bei der zweiten Schwingungsart, 3 | 0, wo die drei, in der Mitte sich durchschneidenden, Linien sich wie ein sechsstralicher Stern zeigen, ist der Ton um eine Octave und einen ganzen Ton höher, als bei der vorigen. Ueberhaupt scheint sich durch das ganze System der Schwingungen 2 | 0, 3 | 0, 4 | 0, 5 | 0 u. s. f. die Folge der Töne wie die Quadrate von 2, 3, 4, 5 u. s. w., oder überhaupt, wie die Quadrate der Zahlen durchgehender Knotenlinien zu verhalten, jedoch sind die Abstände der Töne von einander etwas kleiner, als sie vermöge dieser Progression seyn sollten.

Bei Schwingungsarten, wo ein Kreis vorhanden ist, kann dieser entweder allein, oder von 1, 2, 3 oder mehrern, fast allemal geraden Linien durchschnitten seyn. 0 | I giebt einen Ton, der ungefähr nur

eine kleine Sexte höher ist, als bei 2 | 0. Man hält die Scheibe an einer Stelle, auf welche ein Kreis fällt, und streicht an der nächsten Stelle des Randes. Diese Art der Schwingung ist unter allen, die an einer runden Scheibe möglich sind, die einfachste, indem hier jeder Durchmesser der Scheibe eben so, wie ein Stab bei seiner einfachsten Schwingungsart schwingt. Der Ton ist bei dieser Schwingungsart, so wie auch bei andern, wo Kreise vorhanden sind, voller und stärker, als bei den vorerwähnten, wo sich blos durchgehende Linien zeigen — bei 1 | I ist der Ton beinahe um eine Octave und einen ganzen Ton; bei 2 | I beinahe um 2 Octaven höher als bei 0 | I.

Zwei und mehrere Kreise können ebenfalls allein oder von irgend einer Zahl gerader oder krummer durchgehender Linien durchschnitten seyn. Die Kreise erscheinen bisweilen als concentrische Zirkel, es nehmen aber auch öfters die äußern Kreise eine bestimmte Zahl von Biegungen an, die mit Epicycloiden Aehnlichkeit haben. Der innere Kreis, an dem Chladni nie Biegungen bemerkt hat, ist meistens einer Ellipse ähnlich. In den meisten Fällen haben die Zahlen der durchgehenden Linien gegen die Biegungen der Kreise kein solches Verhältniß, daß eine Zahl durch die andre, oder beide gemeinschaftlich durch eine gewisse Zahl können dividirt werden; es kann also keine vollkommene Symmetrie bei solchen Figuren Statt finden.

Ueber die Tonverhältnisse, die den Klangfiguren der runden Scheiben entsprechen, s. Chladni's Ak. S. 140.

An elliptischen Scheiben haben die Schwingungsarten, wenn beide Durchmesser der Scheibe nur wenig verschieden sind, viele Aehnlichkeit mit den Schwingungen einer runden Scheibe; bei einer beträchtlichern Verschiedenheit beider Durchmesser erhalten sie aber etwas mehrere Aehnlichkeit mit den Schwingungen einer Rectangelscheibe. Es können Knotenlinien in die Quere (in der Richtung des kürzern Durchmessers) gehen, die gewöhnlich einwärts gebogen, (und zwar die äußern mehr als die innern) und Hyperbeln, die ihre convexe Seite der Mitte zukehren, sehr ähnlich sind; es kann auch eine Knotenlinie in die Länge gehen, von Querlinien durchschnitten; es können sich aber auch Knotenlinien zeigen, die einen oder mehrere, in die Länge gezogene, Kreise vorstellen, und diese können allein, oder von einer in die Länge gehenden Linie, oder auch von Querlinien durchschnitten seyn. Jeden Kreis kann man, um die Schwingungsarten gehörig zu ordnen, füglich als zwei, in die Länge gehende, und wegen der länglich ründen Gestalt der Scheibe etwas nach außen gebogene Linien betrachten.

Hier nur von einem merkwürdigen Gesetze, was Chladni bei gewissen Verhältnissen der Durchmesser elliptischer Scheiben zu einan-

der entdeckte. Bei elliptischen Scheiben, wo die Verhältnisse des längern Durchmessers zum kürzern sind, wie 5 zu 3; 8 zu 3; 11 zu 3; 14 zu 3; 20 zu 3, u. s. f. oder überhaupt, wenn n entweder 0 oder irgend eine ganze Zahl bedeutet, wie 5 + n 3 zu 3; vereinigen sich die, außerdem sehr mannichfaltigen, Töne aller Schwingungsarten, die erste Reihe, wo blos Querlinien vorhanden sind, ausgenommen (welche ganz für sich besteht, und fast nur vom längern Durchmesser abhängt), in eine einzige Reihe, indem alle Schwingungsarten, wo, wenn Q die Anzahl der Querlinien und L die Zahl der Längenlinien (einen in die Länge gezogenen Kreis zu zwei solchen Linien gerechnet) bedeutet, die Summe von Q + (n + 2) L eben dieselbe ist, auch einerlei Ton geben. So werden auf einer elliptischen Scheibe, deren längerer Durchmesser zum kürzern sich verhält, wie 5 : 3 einerlei Ton geben die Klangfiguren 5 | 1, *) 3 | 2, 1 | 3: einerlei Ton ferner 8 | 1, 6 | 2, 4 | 3, 2 | 4, 0 | 5. u. s. w.

Ein sehr gewöhnlicher Erfolg von dieser Uebereinkunft mehrerer Schwingungsarten in Ansehung des Tons ist der, daß an dergleichen Scheiben die meisten Figuren sich sehr verzerrt zeigen, und öfters einen Uebergang aus einer Schwingungsart in die andre andeuten.

Die meisten Figuren einer gleichseitig sechseckigen Scheibe haben einige Aehnlichkeit mit den Figuren einer runden Scheibe, sie beziehen sich nämlich auch auf eine gewisse Zahl von durchgehenden und von kreisförmigen Knotenlinien.

Bei den Schwingungen einer halbrunden Scheibe zeigen sich die Knotenlinien so, daß sie entweder als durchgehende Linien, (welche auf einen Halbmesser der Scheibe Beziehung haben, wenn sie sich auch etwas verzerrt zeigen), oder als Halbkreise anzusehen sind. Die meisten Figuren, besonders da, wo Halbkreise sich zeigen, sind so beschaffen, daß wenn man zwei gleiche Figuren an gleich großen Scheiben zusammenstellt, eine Figur erscheint, die sich auch auf einer ganz runden Scheibe darstellen läßt.

Ich füge hinzu, daß Wheatstone (Ann. of Phil. Aug. 1823) noch feinere Unterabtheilungen der Scheiben, als Chladni durch Bestreuen mit Sand, dadurch bemerklich machte, daß er sie mit einer dünnen Schicht Wassers bedeckte. Die Flüssigkeit zeigte, wenn die Scheibe zum Tönen gebracht wurde, eine schöne netzförmige Oberfläche; und Wheatstone folgerte aus diesem, so wie mehrern andern ähnlichen Versuchen, daß außer den Schwingungen der großen Theile, wel-

---

*) Die Zahlen vor dem Striche für die Zahl der Querlinien, die nach dem Strich für die Längenlinien gesetzt.

che zwischen den Knotenlinien enthalten sind, noch eine große Menge kleiner Molecularschwingungen Statt haben, die sich dem Auge bemerklich machen lassen.

Achtes Capitel.

Von den Blasinstrumenten.

Die Blasinstrumente (instrumens à vent) bestehen im Allgemeinen aus geraden oder krummen Röhren, in welchen die Luft nach der Richtung ihrer Länge durch verschiedne Verfahrungsarten in Schwingung gesetzt wird. Diese Schwingungen bringen, indem sie sich der äußern Luft mittheilen, einen Ton darin hervor, der vernehmlich wird, wenn sie schnell genug geschehen. Der tönende Körper in den Blasinstrumenten ist demnach nicht die Röhre selbst, sondern die, darin eingeschlossene, Luftsäule; und die Theorie derselben kommt ganz auf die der Längenschwingungen der Saiten zurück, von welchen S. 30 die Rede war.

Um die, in einer Röhre eingeschlossene, Luftsäule so zu erschüttern, daß sie einen Ton giebt, darf man sie nicht ganz fortstoßen oder zusammendrücken; was nur eine mit sich parallele Fortbewegung oder eine Verdichtung derselben in einen kleinern Raum zur Folge haben würde; vielmehr muß man an einem ihrer Puncte, z. B. an einem ihrer Enden, eine rasche Folge abwechselnder Verdichtungen und Ausdehnungen hervorrufen von der Art, wie sie durch das Hin- und Wiederschwingen eines festen Körpers veranlaßt werden würde. Indem sich dann diese abwechselnden Bewegungen zur ganzen Luftsäule fortpflanzen, nöthigen sie dieselben nach der Richtung ihrer Länge zu schwingen, und rufen Schallwellen in ihr hervor, ähnlich den, bei Erörterung der Fortpflanzung des Schalls beschriebenen.

Das einfachste Mittel, eine solche Erschütterung hervorzurufen, besteht darin, in die Röhre zu blasen, so daß eine dünne, mit Schnelligkeit in Bewegung gesetzte, Luftschicht, sich an der Schärfe ihrer Ränder bricht; wie dies z. B. geschieht, wenn man in einen hohlen Schlüssel bläst. Ueberhaupt ist das, was man eine Pfeife nennt, nichts anders, als eine cylindrische Röhre, Fig. 26, deren Mündungsränder eine schiefe Zuschärfung haben; und vor dieser Mündung ist ein enger Canal angebracht, um durch ihn die Luft gegen diese Zuschärfung zu blasen. Je länger die Röhre ist, um so höher wird der Ton, den sie hierbei giebt. Eine ähnliche Einrichtung haben die Orgelpfeifen, welche man Flötenwerke oder Labialpfeifen

(tuyaux à bouche) nennt, Fig. 27. Sie bestehen aus einem cylindrischen Körper BBHH, der an einem Ende HH offen oder verschlossen ist. Am andern Ende ist eine Seitenöffnung LLL angebracht, welche man den Aufschnitt (bouche) nennt; und durch welchen die Pfeife den Ton von sich giebt.

Der, unterhalb dieser Oeffnung befindliche, Theil B'L der Wände ist abgeplattet und einwärts tretend, so daß er einen Winkel von ungefähr $22°\frac{1}{2}$ mit der Axe des Systems bildet; man nennt ihn das untere Labium (untere Lippe). Der entgegengesetzte Theil LL, welcher über dem Aufschnitt liegt, tritt auch nach Innen; er wird das obere Labium genannt. Gegen dieses bricht sich die Luftschicht, durch welche die ganze Säule in Schwingung versetzt wird. Zu diesem Zweck befestigt man im Anfange der Röhre einen hohlen Kegel bbc, welchen man den Fuß nennt; weil er der Röhre zum Fuß dient, wenn sie vertical gestellt ist. Dieser Kegel ist an seiner Spitze C offen, um den Wind der Blasebälge aufzunehmen, an seiner Basis aber mit einem metallenen Blatte bb, dem Kerne, verschlossen, welches blos bei dem untern Labium einen kleinen länglichen Zwischenraum FF offen läßt, den man das Windloch (lumière) nennt, und der der Luft zum Austritt dient. Der Rand des Blattes, der an diesen Zwischenraum gränzt, ist zugeschärft. Ist man mit der Vorrichtung zu Stande, so bläst man Luft in den Fuß der Röhre; diese entweicht durch das Windloch FF, indem sie eine dünne Schicht bildet, die sich gegen das obere Labium BL bricht. Hat man diesem Labium die gehörige Richtung in Bezug zu der Luftschicht gegeben, so geräth die Luft der Röhre in Schallschwingung; tritt es aber zu sehr nach Innen oder zu sehr nach Außen hervor, so spricht die Pfeife schlecht oder gar nicht an. Man ändert daher die Neigung des Labiums so lange ab, bis die Pfeife einen reinen und deutlichen Ton giebt. Auch die mehr oder minder weite Oeffnung des Aufschnitts gehört zu den Elementen, welche wesentlich in Betracht kommen. Ist der untere Theil des Labiums BL von dem Windloch zu entfernt, so wird der Aufschnitt für die Menge Luft, welche die Blasebälge geben, zu weit seyn, und die Pfeife wird schlecht oder gar nicht ansprechen. Tritt hingegen das Labium BL zu tief herab, so wird die Oeffnung des Aufschnitts zu eng werden, und die Pfeife nicht den, ihrer Länge zugehörigen, tiefsten Ton geben, der immer der volltönendste von allen ist, die sie hervorzubringen vermag; sondern irgend einen andern, höheren. Begreiflich läßt sich diesem Uebelstande leichter abhelfen, als dem andern, indem man nur das obere Labium zu erhöhen braucht, um dem Aufschnitt die erforderliche Weite zu geben. Auch läßt man es Anfangs immer tiefer herabreichen, als es seyn darf, und

schneidet nach und nach so viel davon ab, daß die Pfeife, an ihre Stelle gebracht, den tiefsten Ton hervorbringt, den sie geben soll. Die Oeffnung des Aufschnitts, die des Windloches und die Länge der Labien sind gewissen Verhältnissen unterworfen, welche die Erfahrung kennen gelehrt hat und die von Einfluß auf die Schönheit des Tons sind. Auch hat man gewisse Verhältnisse zwischen der Länge und der Dicke der Pfeifen zu beobachten, wenn sie den möglichst vollkommenen Ton geben sollen. Im Allgemeinen scheint die dünne Luftschicht, welche parallel mit der in der Pfeife enthaltenen Säule gerichtet wird, auf diese die nämliche Wirkung auszuüben, als das Reiben bei den longitudinalen Schwingungen der Saiten. Um regelmäßig anhaltende Schwingungen hervorzurufen, muß sie das obere Labium mit einem gewissen Grade von Kraft treffen, der im Verhältniß mit der zu erschütternden Luftmasse steht, und um so beträchtlicher seyn muß, als die Pfeife weiter ist. Für kleine Pfeifen reicht hiezu schon der menschliche Athem hin. Auf diese Weise bläst man z. B. die Flöte. Bei diesem Instrument wird der Athem mit den Lippen so gerichtet, daß er schief an den scharfen Rand eines kreisförmigen Loches, welches man das Mundloch (embouchure) nennt, trifft; auch bringt man es erst nach einiger Uebung dahin, diese Art Pfeife zum Tönen zu bringen. Mit Sicherheit würde dies in jedem Fall gelingen, wenn man der Luftschicht durch mechanische Mittel ihre gehörige Richtung gäbe, wie dies z. B. bei Vaucansons, unter dem Namen des Flötenspielers bekannten, Automat der Fall ist. Den nämlichen Zweck beabsichtigt man auch bei der eigenthümlichen Gestalt, welche man dem Aufschnitt der Orgelpfeifen giebt. Sie erhalten den Wind aus einem luftdicht verschlossenen Kasten (Windkasten), in dem die Luft durch Blasebälge verdichtet wird, und der mit jeder Pfeife durch ein Ventil in Verbindung steht, welches durch Anschlagen der Taste, welcher diese Pfeife entspricht, geöffnet wird. Windkasten und Blasebälge führen zusammen den Namen des Blasewerks (soufflerie) und das System der Ventile und des Kastens, auf welchem die Pfeifen angebracht sind, heißt die Windlade (sommier). Um gründliche Kenntnisse über die Blasinstrumente zu erlangen, und den interessanten Erscheinungen, die sie darbieten, durch sorgfältige Versuche nachgehen zu können, muß man sich nothwendig einen solchen Apparat, der nach einem kleinen Maßstab verfertigt ist, verschaffen, dessen Dimensionen z. B. den, für die tragbaren Orgeln in Anwendung gezogenen, gleich kommen. Hiemit hat man eine Auswahl Röhren von verschiedener Länge und Dicke, aus Holz, Metall oder auch nur Pappe, zu verbinden, nebst einigen Füßen aus Holz, auf welche sie nach einander aufgesetzt werden können, wie man in Fig. 28. sieht. Dann wird

man die Erscheinungen, welche diese Röhren für sich oder in Beziehung zu einander darbieten, untersuchen können, indem man dieselben entweder einzeln, oder mehrere zusammen auf die Windlade stellt. So wie man einen Ton aus einer derselben hervorgelockt hat, bestimmt man ihn, indem man seinen Einklang auf einer kleinen tragbaren Orgel oder einem ganz genauen Monochord aufsucht; wodurch man in den Stand gesetzt wird, der ganzen Reihe der Resultate auf das Leichteste zu folgen. Die Orgel eignet sich vorzugsweise zu diesem Behuf, wegen des Aushaltens ihrer Töne, wodurch deren Vergleichung an Sicherheit gewinnt, und eine längere Beobachtung ihrer Kennzeichen möglich wird. Um die Kraft des Windes, der die Pfeifen zum Tönen bringen soll, beliebig abmessen zu können, kann man das obere Blatt des Blasebalgs durch ein Gegengewicht erheben, das man nach Willkühr vermehrt und vermindert, indem man entweder neue Gewichte hinzufügt, oder mit der Hand darauf drückt, oder es mittelst einer Ziehstange erhebt. Fig. 28. stellt die einfachste Einrichtung dieses Regulators dar.

Außer den Flötenwerken, die wir so eben beschrieben haben, bedient man sich in den Orgeln auch noch einer andern Art Pfeifen, die keine seitliche Oeffnung besitzen, in denen aber inwendig, beim Anfang der Pfeife, ein Schwingungsapparat, Mundstück (anche) genannt, befindlich ist, der durch den Luftstrom unmittelbar in Schallschwingung versetzt wird. Diese Pfeifen, deren Einrichtung wir weiterhin auseinandersetzen werden, müssen nothwendig an ihrem Ende offen seyn, um die Luft ausströmen zu lassen; eine Bedingung, die nicht wesentlich bei den Flötenwerken Statt zu finden braucht. Diese können offen oder verschlossen (gedeckt) seyn; und ihre verschiedne Einrichtung in diesem Bezug hat blos eine Verschiedenheit in der Tonhöhe bei der nämlichen Länge der Pfeife zur Folge.

Es ist leicht darzuthun, daß wirklich nichts anders als die Luft in diesen Pfeifen den tönenden Körper abgiebt. Zu diesem Zweck verschaffe man sich deren mehrere von gleicher Länge und gleichem Durchmesser, die aber Seitenwände aus verschiednem Stoff haben. Man setze sie successiv auf denselben Fuß, der seinen Aufschnitt und sein Windloch hat, und durchaus zu nichts anderm dient, als die Luftschicht einzulassen, welche die Schwingungen hervorbringt, Fig. 28. Bläst man dann durch das Loch c, so erhält man immer den nämlichen Ton und die nämliche Reihenfolge von Tönen, aus welchem Stoff auch immer die Röhre bestehen mag, es sey aus Holz, Kupfer, Blei, Papier, wofern nur ihre Wände Widerstand leisten; aber wohl Acht ist zu haben, daß in allen diesen Fällen der Abstand des Windlochs vom Ende der Pfeife vollkommen gleich sey, widrigenfalls die Luft-

säule ungleiche Längen haben und verschiedne Töne hervorbringen würde *). Das hier Gesagte bezieht sich nur auf die Tonhöhe, die in der That von dem Stoff, aus dem die Pfeife besteht, unabhängig ist; denn was jenen andern physischen Charakter betrifft, den wir oben unter dem Namen des Klanges erwähnten, so hängt er unstreitig davon ab; und der Ton einer Glasröhre unterscheidet sich daher vollkommen von dem einer bleiernen oder hölzernen Röhre. Die Ursach hievon ist schwer anzugeben; wahrscheinlich jedoch beruht sie auf der Reibung der Luft an der innern Oberfläche der Röhre oder vielleicht auch auf einem schwachen Mitschwingen der Röhre selbst, welches die Dichtigkeitsveränderungen an den verschiedenen Stellen jeder Schallwelle modificirt.

Nachdem wir gezeigt haben, wie sich Töne durch Flötenwerke hervorbringen lassen; und dargethan, daß hiebei die Luft den schwingenden und tönenden Körper abgiebt, bleibt uns zu untersuchen übrig, auf welche Weise diese Schwingungen vermöge der Beschaffenheit und physischen Eigenschaften der Luft vor sich gehen müssen.

Betrachten wir zuvörderst eine cylindrische Röhre AB, Fig. 29., die an ihrem Anfang A zum Theil offen, an ihrem Ende BB verschlossen ist. Eine solche Röhre wird bei den Orgeln eine gedeckte Pfeife (bourdon) genannt. Setzt man darin die Luft auf die eben erörterte Weise in Schallschwingung, so wird die dünne Luftschicht, welche in A die Bewegung einpflanzt, unstreitig die ersten Luftschichten nach verwickelten Gesetzen in Schwingung setzen; bald jedoch werden wir durch sehr genaue Versuche belehrt werden, daß diese Verwicklung sich nur auf eine kleine Weite von der Mündung A erstreckt, worauf die Bewegungen der verschiednen Luftschichten vollkommen regelmäßig und ähnlich werden; wenigstens ist der Ton selbst, welcher dadurch entsteht, constant und gleichförmig. Wir werden deßhalb, um die Aufgabe zu vereinfachen, unsre Betrachtung erst so anstellen, als wirkte der Luftstrom, durch den die Bewegung hervorgebracht wird, blos auf die vorderste unendliche dünne Schicht, über welche hinaus sich dann die Bewegung mit Regelmäßigkeit bis zum verschlossenen Ende der Röhre fortpflanzt. Ferner werden wir annehmen, daß dieser Strom sich in A mit unveränderlicher Geschwindigkeit und Dichtigkeit unaufhörlich erneuert; ein Umstand, der zufolge der Beobachtung erforderlich ist, einen anhaltenden und gleichförmigen Ton hervorzubringen. Bei allen Schwingungsarten, die die Luftsäule annehmen kann, wird

---

*) Ein Beweis dafür, daß nicht die Schwingungen der Pfeife selbst den Ton hervorbringen, ist auch darin zu finden, daß man sie ohne Veränderung des Tons an beliebigen Stellen festhalten oder umwickeln kann.

mithin die dünne, ihre Mündung begränzende, Luftschicht, welche man als die erste ihrer Schichten betrachten kann, nur ein wenig in die Röhre eintreten und wieder abwechselnd heraustreten, ohne weder Verdichtung noch Verdünnung zu erfahren.

Solche, periodisch in sehr rascher Aufeinanderfolge wiederholte, Erschütterungen werden, wie die Schwingungen eines schallenden Körpers, in der Luftsäule Wellenbewegungen von einer constanten Länge α erregen, die aber abwechselnd verdichtend und verdünnend sind, und von der Mündung aus sich mit der gewöhnlichen Schallgeschwindigkeit bis zum Boden der Röhre fortpflanzen. An das verschlossene Ende B angelangt, werden sie in sich selbst in der Richtung BA zurückgeworfen werden, und in dieser neuen Richtung gerade so sich weiter fortpflanzen, wie sie gethan haben würden, wenn die Luftsäule sich über den Boden B hinaus fortgesetzt hätte. Da ferner diese beiden Reihen directer und rückgängiger Wellenbewegungen nur sehr kleine Schwingungen in der Luftsäule hervorrufen, so werden sie in ihrem Verlauf auf einanderfallen (se superposeront) ohne eine die andere zu hindern, und der Zustand der Luftschichten wird der nämliche seyn, als wenn sie in jedem Augenblick durch die Summe dieser beiden Impulse sollicitirt wären. Dem Erfolg hievon nachzugehen, wollen wir zuvörderst die erste Welle betrachten, und zwar in Gedanken in dem Augenblicke festhalten, wo ihre Mitte den Boden der Röhre gerade erreicht. Dann fällt der Anfang (vorderste Theil) O dieser Welle, Fig. 30., der durch die Zurückwerfung schon rückgängig gemacht worden ist, in M mit ihrem Ende (hinterstem Theil) O_x zusammen; und, nehmen wir der größern Einfachheit halber ihre beiden Hälften erst für ganz symmetrisch an, so finden sich die Verdichtungen der Luftschichten $M m \mu$, in denen sie über einander fallen, überall genau verdoppelt. Ihre Intensität ist sonach null in M an den Enden der Welle, und nimmt von da bis zum Boden der Röhre zu. Nicht so verhält es sich mit den Geschwindigkeiten der Fortbewegung (vitesses de translation). Da diese in beiden Hälften der Welle gleich, und vermöge der Zurückwerfung entgegengesetzt sind, so heben sie einander in der ganzen Ausdehnung BM auf. Dieser Zustand des Gleichgewichts dauert nur einen Augenblick: da die zweite directe Welle $O_2\ O_3$, und die zurückgeworfene Welle OBO_x ihren Weg fortsetzen, so erfährt die, in der Entfernung $\frac{1}{2}\alpha$ vom Boden B gelegene, Luftschicht M zugleich die Ausdehnungen, die die erstre, und die Verdichtungen, die die andre mit sich bringt. Diese Einflüsse sind gleich, wenn alle Wellen gleich sind, welches nach dem Gleichbleiben des ursprünglichen Impulses und der Fortdauer des Tons der Fall seyn zu müssen scheint. In diesem Fall nun heben sich ihre entgegengesetzten Wirkungen genau auf, so daß die

betrachtete Schicht in ihrem natürlichen Dichtigkeitszustande bleibt. Folgt man eben so den verschiednen andern Wellen in ihrem successiven Fortschreiten, unter der Annahme, daß sie alle eine constante Länge α haben und abwechselnd verdichtend und verdünnend sind, so wird man finden, daß die Luftschicht M immer diesen unveränderlichen Dichtigkeitszustand beibehält. Deßhalb aber bleibt sie nicht unbeweglich; denn die directe Wirkung der verdünnenden Welle $O_1 O_2$ wird sie nach der nämlichen Richtung hinziehen, als die Wirkung der zurückgeworfenen verdichtenden Welle OO_1, und dasselbe wird auch immer für die folgenden Wellen gelten.

Da diese beiden Kräfte immer gleich und zusammen wirkend sind, so wird die Schicht nur in dem einzigen Augenblicke unbeweglich seyn können, wo sie null sind; d. i. wo die Enden der beiden Wellen zusammenfallen. Dies wird periodisch in gleich entfernten Zeitepochen, 1 T, 2 T, 3 T, u. s. w. erfolgen, wo die constante Zwischenzeit T die Zeit ausdrückt, welche zur vollendeten Fortpflanzung einer Welle von der Länge α erforderlich ist.

Betrachten wir jetzt eine andre Luftschicht N_1, deren Abstand vom Boden B gleich α, d. i. gleich der ganzen Länge der Wellen sey. Diese Schicht wird erst durch die erste verdichtende directe Welle OO_1 erschüttert; dann durch die zweite verdünnende Welle $O_1 O_2$, welche noch ganz rein für sich auf sie wirkt; denn das hinterste Ende O_2 dieser Welle geht eben durch sie hindurch, wenn die erste nach ihrer Zurückwerfung wieder zu ihr gelangt. In diesem Augenblick wird sich die Schicht N_1 in der Lage ihres ursprünglichen Gleichgewichts und ihrem ursprünglichen Dichtigkeitszustande befinden. Nun behaupte ich, daß von dieser Epoche an gerechnet die Schicht N_1, wenn die sich einander folgenden Wellen immer von constanter Länge bleiben, nie mehr eine Verrückung aus ihrer Stelle erfahren wird; denn immer wird sie die entgegengesetzte Wirkung zweier Wellen von derselben Beschaffenheit, verdichtender oder verdünnender, deren eine aber direct, die andere zurückgeworfen ist, zugleich erleiden. Sie wird mithin zwischen den beiden Kräften dieser Wellen, welche ihr eine Fortbewegung nach entgegengesetzter Richtung zu ertheilen streben, unbeweglich verharren, aber die Summe der Verdünnungen oder Verdichtungen, welche sie mit sich bringen, erfahren. Dasselbe wird der Fall mit den Luftschichten N_2, N_3 ... seyn, die in den Abständen 2α, 3α vom Boden B liegen; und eben so auch mit der Luftschicht, welche an diesem Boden selbst anliegt, weil der Impuls zur Fortbewegung, den jeder Punct der directen Wellen mit sich bringt, dort unmittelbar durch die Zurückwerfung aufgehoben wird.

Wendet man successiv diese Betrachtungen auf alle Theile der Luftsäule an, die zwischen dem Boden der Röhre und ihrer Mündung enthalten sind, so wird man finden, daß, wenn das System der directen und das der zurückgeworfenen Wellen vollkommen auf einander fallen, diese Säule in eine gewisse Anzahl schwingender Theile von der Länge α getheilt seyn wird, die zwischen festen Endpuncten in abwechselnd entgegengesetzter Richtung schwingen. Dies stellt die Fig. 31 vor, in welcher die Bewegungen der aufeinanderfolgenden Schichten durch darunter verzeichnete Pfeile ihrer Richtung nach angedeutet sind, wonach denn z. B. in einem und demselben Zeitpuncte Verdichtung in B, Verdünnung in N_1, Verdichtung in N_2, Verdünnung in N_3 u. s. f. in der ganzen Ausdehnung der, in Schwingung versetzten, Luftsäule Statt haben wird; wobei man sich wohl erinnern muß, daß die Verdichtungen sich nicht blos auf die Puncte B, N_2, N_4 . . . . noch die Verdünnungen auf die Puncte N_1, N_3 . . . ., beschränken; sondern daß ein stufenweiser Uebergang von einem dieser Zustände zum andern Statt findet, so daß sich zwischen diesen Extremen, in M_1, M_2, M_3 z. B. Theilchen befinden, die weder eine Verdichtung noch Verdünnung erfahren, welches zugleich die Stellen seyn werden, wo die abwechselnde Vor- und Rückwärtsbewegung am beträchtlichsten ist.

Nun muß, dem zuvor Bemerkten zufolge, in diesem letzten Zustand gerade die dünne Luftschicht seyn, welche die Mündung der Röhre streifend, der ganzen Säule die Bewegung einpflanzt. Die Länge der Wellenbewegungen muß daher ein solches Verhältniß haben, daß sie die Dichtigkeit dieser Schicht unverändert läßt; dann werden die Bewegungen derselben so beschaffen seyn, wie es die Stelle, die sie in der Reihe der andern Schichten einnimmt, erfordert, und sie wird deren Continuität nicht stören. Sie wird so zu sagen nichts weiter bewirken als ein Zurückprallen aller Schwingungen, welche die Säule in der Röhre vollbringt, gegen die äußere Luft. Hiedurch werden in der umgebenden Luft neue Schallwellen von der nämlichen Länge α hervorgebracht werden, die, indem sie sich außerhalb der Röhre fortpflanzen, allenthalben die Empfindung, des, ihrer Länge entsprechenden, Tons hinführen werden.

Zufolge dieser Theorie werden die verschiednen regelmäßigen Schwingungsarten, in welche die in der Röhre enthaltene Luftsäule gerathen kann, zweien, und nur diesen beiden, Bedingungen unterworfen seyn: erstens, daß der geschlossene Boden der Röhre einen Schwingungsknoten abgiebt, wo die Lufttheile unbeweglich bleiben, zweitens, daß die offene Mündung die Mitte einer Welle wird, wo keine merkliche Dichtigkeitsveränderung vor sich geht. Diesen beiden Bedingungen, die blos aus dem Grundsatz, daß sich die Wellen gleich

bleiben müssen, hergeleitet sind, kann auf unendlich viele Arten Genüge geschehen, woraus eben so viele Schwingungsarten hervorgehn, die durch die Theorie voraus bestimmt, und durch die Erfahrung in vollkommener Schärfe bestätigt gefunden werden.

Die einfachste dieser Schwingungsarten ist diejenige, bei welcher die Länge der Wellen das Doppelte von der Länge der Röhre ist, so daß die Hälfte einer Welle sie in ihrer ganzen Länge einnimmt, Fig. 32. In diesem Fall oscillirt die Luftsäule ungetheilt von A nach B und von B nach A. Die Dichtigkeit in A ist unveränderlich, wie dies seyn muß, von da aber bis zum Boden B nimmt die Verdichtung oder Verdünnung immer mehr zu, je nachdem die Säule von A nach B oder von B nach A sich bewegt. Zieht man dagegen die Ortsveränderung der Theilchen in Betracht, so wird man sie immer für null in B, auf dem verschlossenen Boden der Röhre, dessen Widerstand ihr Einhalt thut, anzunehmen haben, von wo an dann die Weite der Excursionen bis zur offenen Mündung A zunimmt, in welche eine kleine, fast unmerkliche, Schicht des Luftstroms, der die Säule in Schwingung versetzt, abwechselnd ein- und austritt.

Es bleibt somit nur noch die Dauer dieser Art Schwingungen zu bestimmen übrig, was keine Schwierigkeit hat. Denn wir haben gesehen, daß, wenn eine Schallwelle sich in einer cylindrischen Luftsäule fortpflanzt und alle ihre Schichten successiv in Erschütterung versetzt, ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Geschwindigkeit des Schalls genau gleich ist. Wenn also das Hin- und Zurück in unsern Röhren zusammen eine Länge von 1024 Fuß ausmachte, so würde die, dieser Länge gleiche, Schallwelle genau eine Secunde brauchen, sich durch dieselbe fortzupflanzen; und es würde mithin in einer Secunde nur eine einzige solche Schallwelle hindurchgehen. Zwei würden hindurchgehen, wenn die doppelte Länge der Röhre nur 512 Fuß, die Hälfte von 1024, betrüge; und im Allgemeinen, welche Länge l auch immer die Röhre hätte, stets würde in einer Secunde eine Anzahl Schallwellen hindurchgehen gleich 1024, dividirt durch das Doppelte von l, was wir durch die Bruchformel ausdrücken

$$\frac{1024}{2l}$$

Ist die Länge der Röhre gegeben, so braucht man sie nur, (in Fußen ausgedrückt) anstatt l in diesen Ausdruck zu substituiren und die Division auszuführen. Der Quotient wird die Zahl Schwingungen ausdrücken, welche in einer Secunde Zeit von der Luftsäule, bei der von uns betrachteten Schwingungsart, wobei die Länge der Schallwellen 2l ist, vollbracht werden. Der so entstehende Ton ist, wie sich bald zeigen wird, der tiefste von allen, welche die Röhre hervorbringen kann.

Nach dieser Schwingungsart, bei welcher gar kein Knoten Statt findet, ist die einfachste diejenige, welche in der Röhre einen einzigen unverrückbaren Knoten N_x N_x, Fig. 33, entstehen läßt, abgesehen von dem, der in jedem Falle am Boden B vorhanden seyn muß. In diesem Falle ist BN_x der ganzen und AN_x der halben Länge der Schallwellen gleich. Die Summe dieser beiden Größen muß mithin der ganzen Länge der Röhre l gleich kommen; die Welle BN_x beträgt somit zwei Dritttheile dieser Länge oder $\frac{2}{3}$l, und die Zahl dieser, in einer Secunde aufeinanderfolgenden, Wellen ist demzufolge gleich 1024, dividirt durch $\frac{2}{3}$l d. i.

$$\frac{3.1024}{2l}$$

Die, durch diese Art der Bewegung hervorgebrachten Schwingungen folgen sich, wie man sieht, dreimal schneller als die vorigen. Wird der erste Ton durch 1 ausgedrückt und mit C bezeichnet, so wird der zweite 3 zum Ausdruck haben, mithin die Octave der Quinte des Grundtons, d. i. g seyn.

Denken wir uns jetzt zwei Schwingungsknoten N_x N_x, N_2 N_2, Fig. 34, in welchen die Lufttheilchen unbeweglich sind; so werden die Entfernungen BN_x, $N_x N_2$ einander, so wie der Länge der Wellen gleich seyn müssen, während die letzte Abtheilung nach der Mündung zu, wie vorhin, die Hälfte dieser Länge haben wird; mithin wird die Summe dieser Größen, fünf Halbwellen befassend, der ganzen Länge der Röhre l gleich kommen müssen; und die Länge jeder Welle wird so $\frac{2}{5}$l seyn; die Zahl mithin der, sich in einer Secunde folgenden, Wellen 1024, dividirt durch $\frac{2}{5}$l; d. i.

$$\frac{5.1024}{2l}$$

Die Schwingungen, welche daraus hervorgehen, erfolgen also fünf mal schneller, als bei der ersten Art der Bewegung. Drücken wir den Grundton, den diese gab, wie vorhin, durch C = 1 aus, so wird der Ton, den wir jetzt erhalten, 5 zum Ausdruck haben, und $\overline{e}$ heißen.

Schließt man auf diese Art weiter, so wird man finden, daß, wenn der, durch die erste Schwingungsart gegebene, tiefste Ton durch 1 vorgestellt wird, alle andern Töne, welche die Röhre hervorbringen kann, die Reihe der ungeraden Zahlen darstellen werden

1, 3, 5, 7, . . . u. s. w.,

und die Art, wie wir sie successiv haben entstehen lassen, zeigt, daß keine Zwischentöne zwischen sie fallen können.

Will man den Verhältnissen der Schwingungszahlen die, ihnen entsprechenden, musikalischen Ausdrücke substituiren, so braucht man nur den ersten Ton durch C vorzustellen; alsdann werden alle Töne,

welche eine, an einem Ende offene und am andern geschlossene, Röhre geben kann, in folgender Reihe begriffen seyn:

1 = C
3 = g
5 = e
7 = ais +
9 = d
11 = fis −
13 = as +
15 = h
u. s. w.

Die Statthaftigkeit dieser Aufeinanderfolge kann durch die Erfahrung nachgewiesen werden, wo sie sich mit großer Genauigkeit verwirklichen läßt. Zu diesem Zweck muß man eine solche Pfeife auf die tragbare Windlade, welche S. 78 beschrieben worden ist, stellen, und aufmerken, welche Töne sie zu geben vermag, wenn man den, ihr zugeführten, Wind allmälig verstärkt, um die Luftsäule zu nöthigen, sich in eine immer größere Anzahl von Theilen unterabzutheilen. Der nämliche Zweck läßt sich auch dadurch erreichen, daß man in den Fuß der Röhre mit immer wachsender Stärke bläst. Glückt es, auf diese Weise einen anhaltenden Ton daraus zu locken, so muß man seinen Einklang auf einer der Tasten einer gut gestimmten Orgel oder auf einem eingetheilten Monochord aufsuchen, wodurch man gleicherweise die, ihm entsprechende, Schwingungszahl findet. Welches Verfahren man auch anwenden mag, stets wird man finden, daß alle Töne, die sich durch die Pfeife hervorbringen lassen, durch Glieder der Reihe der ungeraden Zahlen ausgedrückt werden, wie nach der Theorie der Fall seyn mußte. Um jedoch diese Prüfung etwas weit zu treiben, muß man keine Röhren anwenden, die wirklich zu Orgelpfeifen bestimmt sind, oder deren Verhältnisse in Dicke und Länge so beschaffen sind, wie sie zu Orgelpfeifen allgemein in Anwendung gezogen werden. Denn da solche Pfeifen blos einen einzigen Ton, den tiefsten von denen, die ihnen vermöge ihrer Länge zukommen, geben sollen, so wählen die Künstler, die sie verfertigen, solche Dimensionen, die die Erfahrung als die zweckmäßigsten hat kennen gelehrt, diesen Ton voll und standhaft zu geben, so daß die Pfeife nur sehr schwer auf einen andern überzuspringen vermag. Auch kostet es viel Mühe, einer solchen Pfeife die verschiednen, ihr zugehörigen, Töne zu entlocken, und nur durch gewaltsame Verstärkung des Windes kann man die darin befindliche Luftsäule zu einer Unterabtheilung bei ihren Schwingungen nöthigen. Um daher eine weit fortgesetzte Reihenfolge von Tönen und diese

recht deutlich zu erhalten, muß man sich viel schlankerer Pfeifen bedienen, als von den Orgelbauern gebraucht werden. Allerdings nimmt dann die Schwierigkeit zu, den tiefsten Ton einer solchen Pfeife zu erhalten, weil sich wegen des überwiegenden Verhältnisses ihrer Länge gegen ihre Dicke die in ihnen enthaltne Luftsäule ausnehmend leicht theilt; jedoch gelangt man dazu, wenn man die Kraft des Anblasens sehr mäßigt; indem man entweder den Blasebalg anhält, wofern man sich eines Blasewerks bedient, oder auch, wenn man mit dem Munde hineinbläßt, die Kraft des Impulses mäßigt. In jedem Falle wird man, wo nicht den tiefsten Ton von allen denen, die die Röhre zu geben vermag, doch einen der tieferen erhalten; und wenn man dann die darauffolgenden successiv herauslockt, und nach einer Orgel oder einem Monochord bestimmt, so wird die Vergleichung ihrer Werthe lehren, daß sie wirklich der Reihe der ungeraden Zahlen folgen; und man wird aus dieser Reihe selbst erkennen können, ob man wirklich den tiefsten Ton, oder eins der höhern Glieder der Reihe erhalten hat.

Ich bediene mich auch mit Erfolg Röhren von den nämlichen Dimensionen als die Orgelpfeifen, indem ich blos die Größe ihres Aufschnitts mittelst eines kleinen ganz dünnen und ebenen Kupferblechs abändere, das ich in einem Falz in der Ebene und auf der Verlängerung ihrer obern Lippe vorwärts schiebe, Fig. 35. Zuerst bringe ich die Pfeife in ihrem natürlichen Zustande zum Tönen, wo das Blech ganz zurückgezogen ist; dann lasse ich, während der Wind noch in der nämlichen Stärke aus dem Blasewerk austritt, das Blech etwas nach vorn treten; dann fängt die Pfeife an, schlechter anzusprechen, und hört endlich ganz auf; schiebt man jedoch das Blech immer weiter vorwärts, so gelangt man zu einem Puncte, wo sie wieder ganz deutlich anspricht, und der Ton, den sie alsdann giebt, wird genau durch 3 ausgedrückt, wenn der erste es durch 1 war. Fährt man fort, das Blech vorwärts zu schieben, so klingt der Ton 3 nicht mehr hell, und verstummt dann ganz; bis man endlich den Ton 5 erklingen hört. So kann man so lange fortfahren, als noch eine hinlängliche Aufschnittsöffnung bleibt, durch welche die Pfeife ansprechen kann. Allerdings vermehrt das Vortreten des Blechs die Länge der, in der Pfeife enthaltenen, Luftsäule um eben so viel, als es ihren Aufschnitt verkleinert; wenn man sich jedoch nicht bis zu sehr zahlreichen Unterabtheilungen versteigt, wird diese Verlängerung im Verhältniß zur Länge der einzelnen, zwischen je zwei Schwingungsknoten enthaltenen, Unterabtheilungen nur unbedeutend seyn, zumal wenn man Pfeifen von hinreichender Länge, z. B. von drei bis vier Fuß in Gebrauch zieht.

Bisher haben wir nur von dem Verhältniß der aufeinanderfolgen-

den Töne, welche eine und dieselbe Röhre zu geben vermag, zu einander gesprochen; aber auch die absolute Tonhöhe jedes dieser Töne ist nach unserer Theorie genau durch die Länge der Röhre und die Art der Schwingung gegeben, so daß man sie vorher am Monochord darstellen, und dann sehen kann, ob jede Röhre wirklich dem Verhältniß ihrer Länge gemäß einen, dieser Höhe entsprechenden, Ton giebt. Bei Anstellung dieser Vergleichung findet man, daß der Ton der Röhre immer etwas tiefer ist, als er nach der Theorie seyn sollte. Diese Abweichung rührt von der Art der Mündung her, wie ich weiterhin zeigen werde.

Bei den eben beschriebenen Schwingungsarten giebt es zwischen den Schwingungsknoten $N_1 N_2$ .... Puncte MM ....., Fig. 36, wo die Dichtigkeitsveränderungen völlig null sind, und blos ein Vor- und Rückwärtsgehen der, daselbst befindlichen, Schichten Statt findet. Gesetzt also, man bohre an einem dieser Puncte, z. B. M, ein Loch in die Seitenwand, welches die Luft in der Röhre in freie Gemeinschaft mit der Atmosphäre setze, so wird daraus kein Hinderniß für die Oscillationen der inwendigen Säule nach vorn und zurück entstehen, weil die Dichtigkeit in M stets der Dichtigkeit der äußern Luft gleich ist. Man wird mithin dies Loch abwechselnd öffnen und schließen können, ohne daß der Ton dadurch im Mindesten verändert wird. In der That bestätigt dies die Erfahrung, und weist zugleich nach, daß diese Eigenschaft keinen andern, als den Puncten MM_1 ... zukommt, wie leicht vorauszusehen war.

Noch mehr, diese Erscheinung ist unabhängig von der Größe der Oeffnung M. Sie kann um den ganzen Umkreis der Röhre laufen, und der Theil MB, vom Punct M bis zum festen Boden, ganz abgetrennt seyn, der Ton leidet dadurch nicht die mindeste Abänderung. Dann aber bildet der erste Theil AM, der zwischen der Schicht M und der Mündung begriffen ist, eine, an beiden Enden offne Pfeife. Dieser Versuch lehrt uns somit, wie die Luft in einer solchen Röhre, Fig. 37, schwingt, und zeigt, daß die Wellenbewegungen, wenn sie an den äußersten Punct M, der am weitesten von der Mündung abliegt, gelangt sind, nicht mehr von der äußern Luft wie von einem festen Boden zurückprallen, sondern so, daß diese Luft in M nur bis zu einer geringen Tiefe ein- und austritt, ohne eine merkliche Dichtigkeitsveränderung zu erfahren. Durch dies successive Hin- und Hergehen wird demnach am offenen Ende M eine Art Gegenstrom gebildet, dessen Pulsirungen denen der, in A eingeblasenen, Luftschicht entsprechen. Die, so am einen und am andern Ende erregten Wellenbewegungen pflanzen sich ebenfalls fort, und fallen in allen, zwischen A und M inne liegenden, Schichten auf einander. Die einzige, zur

Continuität der Bewegung der Säule A M erforderliche, Bedingung wird demnach die seyn, daß diese beiden Reihen Wellenbewegungen an Länge gleich sind, wie dies der Fall bei den directen und rückgängigen Wellen in einer Röhre mit verschlossenem Boden ist, und daß außerdem noch, vermöge ihres Uebereinanderfallens, die Dichtigkeit an beiden Mündungen sich gleich bleiben könne.

Die einfachste Schwingungsart in einer solchen Röhre wird demnach die seyn, wo beide Mündungen durch einen einzigen Schwingungsknoten N_1, Fig. 38, geschieden sind, in welchem keine Bewegung der Luftmolecule Statt hat. In diesem Falle wird die Fortbewegung der Luftschichten in A und M immer im nämlichen Augenblicke in entgegengesetzter Richtung Statt finden, und Wellenbewegungen von einer, der Röhre gleichen, Länge zur Folge haben müssen. Wir wollen nun zuvörderst die beiden ersten dieser Wellenbewegungen betrachten, und sie, um von einer festen Vorstellung auszugehen, für verdichtend annehmen. Indem sie sich von beiden Seiten nach der entgegengesetzten Mündung fortpflanzen, begegnen sie sich in der Mitte der Röhre $N_1 N_1$, und die daselbst gelegne Schicht wird somit, da immer beide im nämlichen Augenblick auf dieselbe treffen, unbeweglich bleiben; dagegen aber die Summe der Verdichtungen oder Verdünnungen, die sie mit sich bringen, auf einmal erleiden. Indem nun jede Wellenbewegung sich weiter fortpflanzt, wird die von A ausgegangene im nämlichen Augenblicke die Mündung M erreichen, wo die von M herkommende A erreicht. In diesem Augenblicke werden die Dichtigkeitsveränderungen in den Schichten A und M welche an den äußersten Puncten jeder Welle liegen, null seyn, und von da bis zur Mitte der Röhre zunehmen, wo sie ihr Maximum erreichen, weil dieser Punct dann der Mitte der beiden Wellen entspricht. Von diesem Zeitpunct an wird, da sich die beiden Wellenbewegungen immer noch weiter fortpflanzen, die Verdichtung in $N_1 N_1$ abnehmen; zugleich werden die äußersten Schichten A und M, die bis zu einer geringen Tiefe in die Röhre hineingetreten waren, vermöge ihrer schwingenden Bewegung zurückweichen. Dieses Rückgehen wird an jeder Mündung eine neue verdünnende Wellenbewegung hervorrufen, die der ersten, welche davon ausgegangen war, folgen wird. Auf diese Weise wird der Anfang dieser neuen Welle die Mitte der Röhre erreichen, wenn das Ende der ersten Welle sie verläßt. Vermöge ihres Aufeinanderfallens werden in diesem Augenblicke die Verdichtungen und Geschwindigkeiten in der ganzen Länge der Röhre null seyn; worauf die verdünnende Welle, bei ihrem weiterm Fortgange, die Verdünnungen den Verdichtungen folgen lassen wird. Dieser wird eine dritte, abermals verdichtende, Wellenbewegung folgen;

ein Wechsel, der ins Unbestimmte so lange fortgehen wird, als man in A fortfährt, den stetigen Luftstrom zu unterhalten, welcher den Impuls zur ersten Erschütterung giebt.

Es ist sehr leicht, die, dieser Schwingungsart entsprechende, Tonhöhe zu bestimmen; da nämlich die Länge der Wellen der Länge der Röhre, die wir durch 1 bezeichnet haben, gleich ist, so wird die Schwingungszahl in einer Secunde seyn

$$\frac{1024}{1}$$

Wie man sieht, steht dieser Ton in dem Verhältniß der Octave zu demjenigen, den wie so eben für eine verschlossene Röhre von derselben Länge fanden, denn seine Schwingungszahl ist die doppelte. Dies wird der tiefste Ton seyn, den die, an beiden Enden offene, Röhre geben kann.

In der That bestätigt auch dies die Erfahrung, wenigstens, wenn man die Versuche mit hinlänglich langen Röhren anstellen kann, daß die kleine Unregelmäßigkeit in der Bewegung der ersten, bei A gelegenen, Luftschichten, aus der Acht gelassen werden kann, welche, anstatt in der ganzen Ausdehnung dieser Mündung erschüttert zu werden, es nur durch eine kleine Oeffnung sind. Diese Abweichung läßt sich auch durch den Calcul berichtigen; wird aber schon unmerklich, wenn die Röhre eine gewisse Länge überschreitet.

Nach der eben betrachteten Schwingungsart wird die einfachste diejenige seyn, bei welcher zwischen den Mündungen zwei Schwingungsknoten $N_1 N_2$, Fig. 39, vorkommen, in welchen die Lufttheilchen unbeweglich sind. Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Knoten ist offenbar der Länge einer ganzen Welle gleich, überdies müssen beide Knoten gleich weit von den Mündungen entfernt seyn, weil die, von ihnen ausgegangnen, Wellen gleich sind; da nun $N_1 N_2$ der Länge einer ganzen Welle gleich ist, so nehmen MN_1 und AN_2 jede eine Hälfte davon ein. Die Totalsumme, gleich zwei ganzen Wellen, wird mithin die Länge der Röhre 1 darstellen müssen; die Länge jeder Welle wird daher $\frac{1}{2}1$ seyn, und in jeder Secunde wird sich dann eine Anzahl folgen, die zum Ausdruck hat

$$\frac{2.1024}{1}$$

Der, daraus hervorgehende, Ton wird sonach die Octave des ersten Tons seyn, so daß, wenn man diesen durch C ausdrückt, der andre, der den Werth 2 hat, durch c ausgedrückt werden wird.

Schließt man auf diese Weise weiter, für den Fall von drei, von vier Schwingungsknoten und so fort, so findet man, daß die Reihe der dabei Statt findenden Töne, den ersten als Einheit gesetzt, die ins Unbestimmte fortgesetzte Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4,

5 . . . u. s. w. begreift. In diesen Zahlen sind alle Töne enthalten welche eine, an beiden Enden offene, Röhre zu geben vermag; denn nach der Art, wie ihre Entstehung hergeleitet worden ist, erhellt, daß es keine Zwischenglieder zwischen ihnen geben kann. Will man sie auf die Sprache der Musik zurückführen, so wird sich, wenn man den tiefsten Ton C nennt, folgende Reihe für sie ergeben

1	=	C	17	=	$\overline{\overline{\text{des}}}$ −
2	=	c	18	=	$\overline{\overline{\text{d}}}$
3	=	g	19	=	$\overline{\overline{\text{es}}}$ −
4	=	$\overline{\text{c}}$	20	=	$\overline{\overline{\text{e}}}$
5	=	$\overline{\text{e}}$	21	=	$\overline{\overline{\text{eis}}}$ +
6	=	$\overline{\text{g}}$	22	=	$\overline{\overline{\text{fis}}}$ −
7	=	$\overline{\text{ais}}$ +	23	=	$\overline{\overline{\text{ges}}}$ −
8	=	$\overline{\overline{\text{c}}}$	24	=	$\overline{\overline{\text{g}}}$
9	=	$\overline{\overline{\text{d}}}$	25	=	$\overline{\overline{\text{gis}}}$
10	=	$\overline{\overline{\text{e}}}$	26	=	$\overline{\overline{\text{as}}}$ +
11	=	$\overline{\overline{\text{fis}}}$ −	27	=	$\overline{\overline{\text{a}}}$ −
12	=	$\overline{\overline{\text{g}}}$	28	=	$\overline{\overline{\text{ais}}}$ +
13	=	$\overline{\overline{\text{as}}}$ +	29	=	$\overline{\overline{\text{b}}}$ +
14	=	$\overline{\overline{\text{ais}}}$ +	30	=	$\overline{\overline{\text{h}}}$
15	=	$\overline{\overline{\text{h}}}$	31	=	$\overline{\overline{\text{his}}}$ −
16	=	$\overline{\overline{\text{c}}}$	32	=	$\overline{\overline{\text{c}}}$

u. s. f. Diese Reihenfolge von Tönen läßt sich durch die Erfahrung bewähren, auf die S. 86 angegebene Weise; und die Wirklichkeit giebt sie mit der größten Treue wieder. Sie findet Statt überhaupt in allen Instrumenten mit cylindrischen, geraden oder gekrümmten, Röhren, deren beide Enden offen sind, z. B. im Waldhorn, der Trompete, und selbst dem Schlangenrohr und den Flöten, wofern man die Seitenlöcher dieser beiden Instrumente verschließt.

Zu einer interessanten Bemerkung giebt der, durch 7 ausgedrückte, Ton Veranlassung. Die meisten Musiker nämlich, welche Horn oder Trompete blasen, vermögen ihn nicht herauszubringen. Nachdem sie den tiefsten Ton C angegeben haben, bringen sie ohne Schwierigkeit die Töne c = 2, g = 3, $\overline{\text{c}}$ = 4, $\overline{\text{e}}$ = 5 und $\overline{\text{g}}$ = 6 hervor, worauf das Instrument, gleichsam gezwungenerweise, auf die dreifache, durch 8 ausgedrückte, Octave überspringt, ohne daß sie im Stande

sind, den zwischenliegenden Ton 7 anzugeben. Daniel Bernoulli glaubt den Grund davon in der Schwierigkeit zu finden, eine Größe in sieben gleiche Theile zu theilen; dann aber müßte es noch weit schwerer fallen, den, der Zahl 12*) entsprechenden, Ton hervorzubringen, der sich doch ohne Schwierigkeit erhalten läßt. Ich theile vielmehr die Meinung dieses berühmten Physikers, wenn er sagt, daß diese Schwierigkeit auch von der mangelnden Uebung des Musikers herrühre, der niemals nöthig hat, den, durch 7 ausgedrückten, Ton auf seinem Instrument anzugeben, weil er in der Musik, als zwischen $\overline{\text{ais}}$ und $\overline{\text{h}}$ liegend, nicht gebräuchlich ist; und der Beweis, daß eine solche Gewohnheit erfordert wird, nach Belieben den einen oder andern Ton zu erhalten, ergiebt sich daraus, daß sie selbst für die, am leichtesten hervorzubringenden, Töne nöthig ist, wie C, c, g, $\overline{\text{c}}$ und $\overline{\text{e}}$. Hievon kann man sich leicht überzeugen, wenn man an eine Pfeife von Glas oder Pappe ein Mundstück (embouchure) ansetzt, und versucht, mit dem Munde in ihren Fuß zu blasen, um Töne daraus zu locken. Denn anfangs wird man sie plötzlich von einem Tone auf einen andern, über mehrere Zwischenliegende hinweg, springen hören, je nachdem man mit größerer oder geringerer Kraft bläst. Allein, nachdem man diesen Erfolg gewahr geworden ist, wird man bald die erforderliche Uebung erlangen, in gehöriger Stufenfolge von einem Ton zum andern auf- oder abzusteigen; und wenn man im Hervorbringen eines solchen Tons begriffen ist, wird man so zu sagen, das Gefühl von dem Grade der Kraft haben, den man anwenden muß, um zu einem andern, unmittelbar der Höhe oder Tiefe nach darauf folgenden, überzugehen, wie ich mich selbst überzeugt habe. Es ist also wahrscheinlich, daß man, durch fleißige Uebung, und indem man sich den Ton 7 oft auf einem Monochord oder einer Orgelpfeife angeben ließe, dahin gelangen würde, ihn gleich gut zu erhalten, und genau die Menge von Wind, die er erfordert, zu geben; denn es finden in diesem Bezug unerläßliche Bedingungen Statt, die die Erfahrung allein erfüllen lehrt, ohne daß wir daran denken. Der Musiker hat sehr wohl die Empfindung dieser Grade für die Töne 6 und 8, die er jeden Augenblick in der Musik braucht, da sie Quinte und Octave des Tons 4 darstellen, und es ist ganz natürlich, daß er zu einem oder dem andern derselben gleichsam fortgerissen wird, wenn er etwa einmal den Ton 7 hervorzubringen sucht, an welchen er nicht gewöhnt

---

*) Ich sehe nicht wohl ein, wie sich die, hierin liegende Behauptung des Verfassers rechtfertigen läßt, eine Größe sey leichter in 7 als in 12 gleiche Theile zu theilen; da die Theilung nach letztrer Zahl in eine Theilung nach der 2 und 3 zerlegt werden kann; welche, jede für sich, unstreitig leichter von Statten geht, als die Theilung nach der 7, die als Primzahl unzerlegbar ist.

ist. Leichter wird man ihn erhalten, wenn man, anstatt mit dem Munde in die Pfeife zu blasen, sie auf eine tragbare Windlade setzt, die mit einem Blasewerk in Verbindung steht, dessen Kraft sich mäßigen läßt. Bei einem Versuche dieser Art, den ich mit Hrn. Hamel anstellte, glückte es uns, den Ton 7 ganz deutlich und anhaltend hervorzubringen. Allein wir mußten noch einen andern Kunstgriff als Beihülfe anwenden, nämlich den Finger dem Aufschnitt der Pfeife mehr oder weniger nähern, wenn wir die Töne 6 oder 8 hervorgebracht hatten, um die Richtung der, aus dem Windloch tretenden, Luftschicht so zu sagen, zu reguliren und sie wieder in die Pfeife zurücktreten zu lassen. Dann hörte man nach einigen Augenblicken Summens und gleichsam Schwankens den Ton 7 hell hervortreten, den wir leicht zu erkennen vermochten, weil sein Einklang auf einer Orgel, die uns zur Vergleichung diente, einem $\overline{\text{a}}$ *) entsprach, dessen Taste wir von Zeit zu Zeit anschlugen, um uns die Empfindung der Schwingungsart zu erwecken, die wir hervorzubringen strebten.

Im Allgemeinen ist aus der vorstehenden Tabelle zu ersehen, daß die tiefsten Töne, welche sich durch Röhren, die an beiden Enden offen sind, hervorbringen lassen, sehr weit aus einander liegen; so liegen z. B. die beiden ersten, C, c um das ganze Intervall einer Octave aus einander. Mit zunehmender Höhe der Töne aber, d. i. in demMaße, als die Luftsäule sich in eine größere Anzahl Theile abtheilt, rücken auch die Töne, die sich hervorbringen lassen, näher zusammen. Noch höher hinauf fängt man selbst an, auf die chromatischen Intervalle zu gerathen, die durch Erhöhung oder Erniedrigung der diatonischen um einen kleinen halben Ton entstehen. Die höchsten endlich, die vom Grundton des Instruments am weitesten abstehen, lassen sich auch durch diese Einschaltungen nicht mehr alle darstellen. Man kann sich hieraus erklären, warum der Hornbläser unter den tiefern Tönen nur ganze Töne anzugeben vermag, während er unter den höhern auch Halbtöne moduliren kann. Er vermag selbst durch Bewegung der Lippen das Mundloch seines Instruments so abzuändern, daß der Ton 7, welcher höher, als $\overline{\text{ais}}$ ist, mit dem wahren Werth dieser Note in der diatonischen Tonleiter übereinstimmt. Noch größere Veränderungen bringt er dadurch hervor, daß er die offene Mündung der Röhre zum Theil mit der Hand verschließt. So vermag er z. B. die Töne 11 und 13 auf ihre gebräuchlichen Werthe zurückzuführen. Dadurch, daß diese Kunstgriffe, die den Luftstrom bei seinem Ein- und Austritt modificiren, mit einem Grade der Fertig-

*) Nämlich der tiefste Ton der Pfeife war ein andrer als C.

keit und Präcision, die das unmittelbare Gefühl allein zu gewähren vermag, in Verbindung angewandt werden, gelangt man dahin, zwischen die natürlichen Töne, die in den Intervallen der ersten Octaven liegen, chromatische Intervalle einzulegen, und selbst in der untersten Abmessung die halben Töne hervorzubringen, die dem Instrument an sich versagt sind. So bedeutende Modificationen jedoch erfordern viel Geschicklichkeit und Uebung, um mit Genauigkeit hervorgebracht zu werden, und liegen außer dem Bereich der gewöhnlichen Musiker.

Hier, wie bei den, an einem Ende verschlossenen, Pfeifen sind durch die theoretischen Ausdrücke nicht allein die Verhältnisse der successiven Schwingungszahlen, sondern auch die absoluten Werthe dieser Zahlen für jede bestimmte Länge der Pfeife gegeben; und man kann sie auf dieselbe Weise durch die Erfahrung nachweisen, indem man den Einklang für die Töne der Pfeife an einem, mit einem beständigen und bekannten Gewicht belasteten, verticalen Monochord aufsucht. Nun findet man hiebei, daß der Ton derselben stets etwas tiefer ist, als ihre Länge zufolge der Theorie mit sich bringen sollte.

Um die Ursach dieser Verschiedenheit aufzufinden, brauchte Daniel Bernoulli das Mittel, in die Pfeife einen beweglichen Stempel einzusenken, und zu beobachten, in welchen Lagen desselben der Ton der, zwischen diesem Stempel und dem Aufschnitt der Pfeife enthaltenen, Luftsäule der nämliche ward, als den die ganze Säule gab. Es leuchtet ein, daß diese Lagen eben so viel Schwingungsknoten entsprechen, in welchen die Lufttheilchen während der Bewegung der Säule unbeweglich bleiben, so daß ihre Abstände die Längen der, unter einander zusammenstimmenden, Theile, in welche sich die Säule von freien Stücken theilt, darstellen. Nun findet man bei Anstellung dieses Versuchs, daß alle Unterabtheilungen, mit Ausnahme der, der Mündung (embouchure) zunächst liegenden, unter einander gleich und so beschaffen sind, wie es die Theorie für den, ihnen zugehörigen Ton, angiebt; allein die, der Mündung zunächstliegende, obwohl sie auch mit den andern zusammenstimmt, ist stets kürzer; und da diese nur theilweis erschüttert wird, während es die andern in ihrem ganzen Querdurchschnitt sind, so hat Daniel Bernoulli den Grund ihrer geringen Länge in dieser Ursach gesucht; auch fand er in der That, daß bei Abänderung der Mündungsweite die Verkürzung der ersten Abtheilung sich ebenfalls abänderte.

Ich habe mich davon überzeugt, daß dieser Einfluß der partiellen Mündungen in verschiednen Gasarten, bei dem nämlichen Druck und der nämlichen Temperatur, ungleich ist. Im Wasserstoffgas z. B. ist er bei Weitem bedeutender, als in atmosphärischer Luft; wodurch die, der partiellen Mündung zunächst liegende, Abtheilung, ohne Ver-

gleich an Länge gegen die andern Abtheilungen verliert, obwohl sie mit ihnen zu einem Tone zusammenstimmt. Es folgt hieraus, daß, wenn man eine und dieselbe Pfeife successiv mit diesen beiden Gasarten zum Tönen bringt, die schwingenden Säulen in der That nicht die nämliche Länge in beiden haben. Dieser Umstand erfordert eine Berücksichtigung, wenn man die, durch verschiedne Gasarten hervorgebrachten, Töne mit einander vergleichen will. Der Theorie nach müssen dieselben, bei gleichen Längen, sich umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der Dichtigkeiten der Gasarten verhalten, wenn Druck und Temperatur die nämlichen sind. Allein dies Resultat kommt nicht zum Vorschein, wenn man die nämliche Orgelpfeife mit verschiednen Gasarten tönen läßt, eben des angezeigten Grundes halber. Beim Wasserstoffgas z. B., welches in einer offenen Pfeife von ungefähr einem Fuß Länge, die mit einer Mündung gleich der der gewöhnlichen gedeckten Pfeifen, versehen ist, schwingt, bewirkt die Art des Anblasens eine so starke Annäherung des Schwingungsknotens an die partielle Mündung, daß eine Erniedrigung fast um eine kleine Septime unter die, von der Theorie unter Voraussetzung der Gleichheit beider Abtheilungen der Gassäule geforderte, Tonhöhe erfolgt. Begreiflich muß sich übrigens die Größe dieser Erniedrigung mit dem Verhältniß, welches man dem Aufschnitte der Pfeife zu ihrer Länge und Dicke giebt, abändern: auch haben alle Physiker, welche, ohne diese Ursach zu berücksichtigen, Versuche über die Töne mit verschiednen Gasarten anstellten, keine Uebereinstimmung in den Verhältnissen der Erniedrigung zu finden vermocht, und so zu keinen festen Bestimmungen in dieser Hinsicht gelangen können.

Abgesehen nun von diesem besondern Fall, der die Bewegung der Schichten, auf welche die Erschütterung zuerst wirkt, betrifft, sieht man, wie die, in diesem Capitel gegebenen, Erörterungen den Weg zeigen, die ganze Reihenfolge von Tönen, welche die Luft in cylindrischen, an ihrem Ende offnen oder geschlossenen, Röhren hervorbringt, mit Leichtigkeit aufzufinden. Diese Uebereinstimmung mit der Erfahrung scheint mithin anzudeuten, daß bei der Art des Anblasens, die für die Orgelpfeifen in Gebrauch ist, die Schwingungsbewegungen, durch welche die Töne dieser Pfeifen hervorgebracht werden, wirklich sich unsrer Beschreibung gemäß verhalten, wirklich in der successiven Fortpflanzung einer unendlichen Menge von Luftwellen bestehen, die den, von uns erörterten, Gesetzen gemäß einander folgen oder gegen einander zurückkehren. Jedoch hat Poisson, indem er die Bildung der Bewegungen einer Luftsäule einer neuen, alle mögliche Schwingungsarten umfassenden, mathematischen Untersuchung unterwarf, entdeckt, daß die nämliche Reihe von Tönen bei viel allgemei-

nern Bewegungsgesetzen, als von uns angewandt würden, bestehen kann. So fand er, daß der Ton der ersten, an der Mündung gelegenen, Abtheilung nicht allein tiefer seyn kann, als er für eine gleiche, zwischen zwei andern Unterabtheilungen der übrigen Säule begriffene, Länge seyn würde; sondern auch, daß dieser Ton, mitrelst zweckmäßiger Erschütterungsarten, ins Unbestimmte erniedrigt werden kann. Poisson machte ferner bemerklich, daß die Dichtigkeit der schwingenden Theile der Luftsäule an den offenen Stellen dieser Säule nicht der Dichtigkeit der umgebenden Luftschichten in voller Strenge gleich seyn kann, sondern daß sie daselbst eine gewisse Zusammendrückung erfahren muß, weil sie ihnen ihre Schwingungsbewegung mittheilt; woraus er ableitete, daß jede Schallwelle, wenn sie in die Röhre zurücktritt, nachdem sie gegen die äußere Luft angeprallt ist, der Weite der Excursion ihrer Theilchen nach geschwächt seyn muß, obgleich die Periode ihrer Bewegung noch die nämliche bleibt; so daß nach einigen Wiederholungen dieses Hin- und Rückgangs, deren öfters mehrere tausende in einer Secunde geschehen, die Intensität der Schallwelle, und mithin auch die des Tons, den sie hervor bringt, ausnehmend geschwächt seyn müssen. Aus diesem Umstande erklärt sich sehr wohl, warum man die Schwingungsbewegung der Luftsäule unterhalten muß, indem man unausgesetzt in ihre Mündung bläst, wenn ein ununterbrochen anhaltender Ton erfolgen soll; was, bei der vollkommnen Elasticität der Luft, nicht der Fall zu seyn brauchte, wenn nicht eine stetig wirkende Ursach die Intensität der Wellen progressiv und schnell schwächte. Die andre Bemerkung, welche die, ins Unbestimmte zu treibende, Erniedrigung des Tons in der ersten Abtheilung der Pfeifen betrifft, hat ebenfalls ihre vollkommene Bestätigung durch sehr interessante, von Chanteau angestellte, Versuche erhalten. Diesem gelang es, indem er den Pfeifen eine sehr große Dicke im Verhältniß zu ihrer Länge gab, ihren Aufschnitt verkleinerte, und die Richtung der Luftschicht, welche der Masse der inwendig enthaltenen Luft die Bewegung einpflanzt, abänderte, außerordentlich tiefe Töne aus denselben hervorzulocken.

In den Pfeifen, offenen sowohl als gedeckten, können, eben wie bei den schwingenden Saiten, mehrere verschiedne Schwingungsarten gleichzeitig vorhanden seyn, und in der nämlichen Luftsäule so zu sagen auf einander fallen; denn giebt man irgend einen, durch n ausgedrückten, Ton an, so hört man oft mit ihm zugleich einen der tiefern Töne erklingen, welche geringern Zahlen als n entsprechen. Dies wird vorzüglich bemerklich bei den Uebergängen von einer Schwingungsart zu einer andern, wenn man sie nach und nach durch veränderliche Aufschnittsöffnungen hervorbringt, wie auf S. 87 erörtert worden.

Von Röhren mit ungleichem Durchmesser.

Die cylindrischen Röhren bieten den einfachsten Fall der Fortpflanzung der Schallwellen dar; jedoch lassen sich solche Wellen auch in Röhren von veränderlichem Durchmesser, z. B. kegelförmigen oder hyperbolischen hervorbringen, indem man Mundstücke an dieselben, wie an die cylindrischen Röhren, fügt. Untersucht man hier die Bewegung der Luftsäule mittelst beweglicher Stempel, so findet man, daß sie sich auch noch in Theile theilt, die unter einander zusammenstimmen, und durch unbewegliche Schichten geschieden sind, deren Lage durch die Entgegensetzung der Bewegungen der aneinandergränzenden Theile bestimmt ist. Allein der Unterschied findet von den cylindrischen Röhren Statt, daß die Längen dieser Abtheilungen nicht mehr nothwendig unter einander gleich sind, und von der Gestalt der Röhre abhängen.

Man braucht auch als Orgelpfeifen eine besondre Art Flötenwerke, welche Rohrflöten (tuyaux à cheminée) Fig. 40, genannt werden. Sie bestehen aus einer übrigens gedeckten Pfeife, in deren Deckel aber ein kleines rundes Loch angebracht ist, in welches eine Röhre AB, von ihm mit gleichem Durchmesser, eingefügt wird, die an beiden Enden offen, und im Verhältniß zur Pfeife sehr kurz ist. Die Tonhöhe dieser zusammengesetzten Pfeifen steht in der Mitte zwischen der der ganz gedeckten und ganz offenen; ihr Klang aber ist etwas anders, und man bedient sich ihrer aus diesem Grunde, um mehr Mannichfaltigkeit in das Spiel zu bringen.

Oefters giebt man Röhren eine kegelförmige oder hyperbolische Gestalt, um den Ton an einem Puncte oder nach einer bestimmten Richtung zu verstärken. So suchen harthörige Personen, um besser zu hören, Hülfe im Gebrauch einer kegelförmigen Röhre, Hörrohr (cornet acoustique) genannt, die sie mit der Spitze in ihr Ohr stecken; und in dem Fall, wo man die Stimme sehr weit erschallen lassen oder ihre Stärke sehr vermehren will, wie bei dem Schiffscommando, spricht man in kegelförmige oder hyperbolische Röhren hinein, indem man die ausgeweitete Oeffnung derselben nach dem Orte kehrt, wohin der Schall gelangen soll. Die Wirkungsart dieser Instrumente ist lange Zeit unerklärt gewesen; die mathematischen Untersuchungen von Poisson jedoch haben eine sehr wahrscheinliche Lösung des Räthselhaften, was bei ihnen Statt findet, gegeben, indem dadurch nachgewiesen worden ist, daß, wenn eine, durch feste Wände begränzte, Luftsäule an einem ihrer Enden erschüttert wird, die Weite der Excursion der, am andern Ende gelegenen, Lufttheilchen, vermöge der Gestalt der Röhre, weit stärker nach einer gewissen Richtung, z. B. der Axe der Röhre, werden kann, als bei einer, in gerader Richtung

fortwirkenden, Erschütterung möglich gewesen wäre; wodurch diese Theilchen die Fähigkeit erlangen, mit sehr vermehrter Stärke durch ihre Pulsationen auf die umgebende Luftmasse in der Richtung zu wirken, nach welcher ihre Geschwindigkeit in außergewöhnlichem Grade vermehrt worden ist.

Von den Flöten und den, mit Seitenlöchern versehenen, Blasinstrumenten.

Was wir bisher in Betracht zogen, waren Röhren von verschiednen Längen, theils an beiden Enden offen, theils an einem verschlossen, immer aber mit ununterbrochen fortlaufenden Wänden. Man verfertigt jedoch auch sehr wohlklingende Instrumente aus cylindrischen Röhren, in welche Seitenlöcher gebohrt sind, und in die man durch eine Mündung bläst; sie sind nichts anders als Orgelpfeifen, bei denen die Stelle des Blasebalgs durch den Mund des Musikers vertreten wird. Da ich sie hier nur aus dem theoretischen Gesichtspuncte zu betrachten habe, so wird ein einziges derselben als Beispiel hinreichen; ich wähle die Flöte, weil sie am bekanntesten ist.

Dies Instrument, welches in Fig. 41 vorgestellt ist, besteht aus einem hohlen Cylinder von Holz, Elfenbein oder Krystall, der an einem Ende ganz offen und nur am andern mit einem Seitenloch versehen ist, welches als Mundloch dient. Die Ränder dieses Lochs haben eine Zuschärfung, und, indem man sie an den Mund bringt, und die Lippen schließt, bläst man eine Luftschicht schief gegen ihre Schärfe. Hiedurch wird die, in der Röhre enthaltene, Luftsäule in Schallschwingung versetzt. Verschließt man zuerst mit den Fingern alle übrigen Löcher, welche in die Wände der Röhre gebohrt sind, so wird sie unter die Kategorie der cylindrischen, an beiden Enden offenen, Röhren treten. Man wird also zuvörderst einen Grundton, den tiefsten von allen, die die Flöte zu geben vermag, erhalten, und durch stärkeres Blasen oder Abänderung der Art des Blasens, noch eine Folge anderer Töne mit immer zunehmender Höhe, die, den ersten als Einheit gesetzt, die Reihe der natürlichen Zahlen bilden

1, 2, 3, 4, 5 . . .

Allein, es werden sich auch noch andre dazwischenliegende Töne erhalten lassen, wenn man successiv eines oder mehrere der, bis jetzt als geschlossen angenommenen, Seitenlöcher öffnet; denn die Oeffnung jedes derselben bringt eine Erhöhung des Grundtons mit sich, die sich mit der Größe der Seitenlöcher und ihrer Entfernung vom Mundloch abändert; wie sich durch Erfahrung finden läßt, wenn man successiv ihre Dimensionen vergrößert.

Man hat Blasinstrumente, wie das Schlangenrohr und das Horn,

die aus gekrümmten Röhren bestehen. Diese Krümmung hat jedoch ganz und gar keinen Einfluß auf die Töne, die man aus ihnen erhält, und dient zu weiter nichts, als den Röhren, indem sie sich gegen sich selbst zurück biegen, eine große Länge bei einem kleinen Volumen zu geben. Die Tonreihe derselben ist übrigens ganz die nämliche, als bei geradlinigen Röhren von der nämlichen Dicke und Länge.

Von der Art, die Flötenwerke zu stimmen. Verfahren, sie auf die rechte Tonhöhe zu bringen.

Verfertigt man Orgelpfeifen nach den, durch Theorie und Erfahrung vorgeschriebenen, Dimensionen, so werden sie doch auf das erste Mal nie in aller Schärfe die bezweckte Tonhöhe haben. Man muß sie also durch Correctionen auf dieselbe zu bringen wissen. Ich werde die Verfahrungsarten erörtern, welche zu diesem Zweck in Gebrauch sind, und sich auf die Modificationen gründen, die der Ton bei Abänderung der Länge oder Gestalt der Pfeifen erfährt. Man hat deren verschiedne je nach der Gattung der Pfeifen und dem Stoff, woraus sie bestehen. Gesetzt zuvörderst, die Pfeife bestehe aus Holz, aus Pappe oder aus irgend einem andern Stoff, der der Ausdehnung widersteht. Soll nun der Boden verschlossen seyn, wie in den gedeckten Pfeifen, Fig. 42, so setzt man einen cylindrischen, genau passenden, mit Fell, von dem das Rauche nach Außen gekehrt ist, bekleideten, hölzernen Stöpsel ein, und drückt ihn allmälig herab oder zieht ihn zurück, bis die Pfeife sich auf der verlangten Tonhöhe befindet. Hat man es mit einer offenen Pfeife zu thun, Fig. 43, so setzt man ein dünnes Blatt von Blei in einer gegen ihre Axe geneigten Richtung an die Oeffnung an, und verändert seine Neigung so lange, bis die Pfeife einstimmt. Dieses Blatt modificirt die Tonhöhe, indem es die Pfeife zum Theil verschließt; denn wenn es ganz herabgelassen wäre, so daß es die ganze Oeffnung bedeckte, so würde es die Pfeife offenbar zu einer gedeckten machen, und den Ton derselben um eine ganze Octave erniedrigen.

Anlangend nun die Pfeifen von Blei oder Zinn, so werden sie, wofern sie offen sind, mittelst des, in Fig. 44 vorgestellten, Instruments gestimmt, welches den Namen Stimmhorn führt. Es besteht aus einem festen Stiel, der an einem Ende einen massiven Kegel C, am andern einen hohlen Trichter E trägt. Ist die Pfeife zu tief, so steckt man die Spitze des Kegels in ihr offenes Ende hinein, und treibt durch Hin- und Herdrehen den Rand daselbst aus einander,

so daß die Oeffnung weiter wird; ist sie zu hoch, so treibt man die Ränder der Oeffnung mit dem Trichter E zusammen, und verengert sie dadurch. Wie leicht einzusehen nämlich, wird durch Verengerung der Oeffnung die Pfeife einer gedeckten mehr ähnlich, dagegen bei Erweiterung derselben unähnlicher. Auf die gedeckten Pfeifen selbst läßt sich dies Verfahren nicht anwenden; eben so wenig kann man ihrem Deckel eine andre Lage geben, weil er an das Ende ihres Corpus angelöthet ist. Man hilft sich deshalb durch ein andres Mittel, das um so mehr unsre Aufmerksamkeit verdient, da die Erfahrung allein auf dasselbe führen konnte. An die äußere Oberfläche der Pfeife, zur Seite des Labium, an welches der Wind antrifft, bringt man zwei bleierne Blätter LL, Fig. 45, an, die sich nach außen öffnen, und gleichsam ein paar Ohren (oreilles) darstellen, daher sie auch im Französischen diesen Namen führen. (Im Deutschen heißen sie Bärte). Sind sie ganz nach Außen geöffnet, so daß sie sich an der Oberfläche der Pfeife anlegen, so giebt diese den natürlichen Ton, der ihr vermöge ihrer Länge zukommt; nähert man sie aber einander allmälig, so verliert der Ton immer mehr an Höhe, oft in sehr bedeutendem Maße.

Wie man sieht, hängt diese Erscheinung mit dem Einfluß der Mündungen zusammen; allein eine Berechnung derselben würde nicht leicht seyn. Der nämlichen Vorrichtung bedient man sich auch bei den Rohrflöten, bei welchen die andern Correctionsmethoden nicht anwendbar sind; denn bei der Kleinheit der aufgesetzten Röhre läßt sich nicht an ein Stimmen derselben durch Ausweitung denken.

Ueberhaupt Alles, was auf irgend eine Weise die Luftschwingungen, sey es im Innern oder außerhalb der Pfeifen hemmen oder verzögern kann, modificirt die Höhe der Töne. So ist selbst die Nähe der Pfeifen an einander nicht ohne Einfluß; denn wenn man in einer gut gestimmten Orgel einige Pfeifen absondert, indem man die benachbarten wegnimmt, so ändert sich ihre Tonhöhe und sie halten nicht mehr Stimmung.

Von den Rohrwerken (Zungenpfeifen, Schnarrwerken, instrumens à anche).

Den wesentlichsten Theil der jetzt zu beschreibenden Instrumente macht ein Schwingungsapparat aus, welcher Mundstück (anche) genannt wird, und in Fig. 46 vorgestellt ist. Die Schwingungen an ihm werden durch einen Luftstrom vermittelt, und die so hervorgebrachten Töne dadurch sehr verstärkt, daß man das Mundstück in eine Röhre von gehöriger Dicke und Länge einsetzt, worin die Schwingun-

gen vor sich gehen. Der wesentlichste Theil am Mundstück ist die Zunge (languette) AL, bestehend aus einem dünnen Streifen von Messingblech, welcher in A an einem, nach der Richtung AR rinnenartig ausgehöhlten Cylinder AR, dem Mundstück im engern Sinne, befestigt ist. Man setzt dies System mit dem Ende A in ein halbkreisförmiges Loch, von gleichem Durchmesser, ein, das in die Mitte eines Pfropfs T gebohrt ist, welcher die Pfeife SVT genau verschließt und Kopf genannt wird. Bläst man nun in die Röhre durch die Mündung S, die zu diesem Zweck mit Fleiß verengert ist, so muß der Luftstrom, um zu entweichen, durch die Rinne des Mundstücks hindurchstreichen. Da jedoch die Rinne im Verhältniß zum Durchmesser der Pfeife SVT sehr klein ist, so bewirkt ein hinlänglich starkes Blasen, daß die Luft, indem sie sich hineinzutreten beeilt, die Zunge AL gegen die Rinne andrückt und dieselbe so verschließt. Wenn jedoch die Kraft, mit welcher der, durch die Rinne hindurchgestrichene, Antheil Luft gegen die äußere Luft andrängt, erschöpft ist, so äußert diese sogleich ihre Gegenwirkung, welche, verbunden mit der eignen Elasticität der Zunge, das Erheben der letztern zur Folge hat; dann tritt die inwendige Luft abermals ein, die Zunge wird wieder angedrückt, und dies abwechselnde Spiel geht so lange fort, als noch neue Luft in die Mündung S mit hinlänglicher Geschwindigkeit eingeblasen wird. Setzt man diese Mündung auf den Canal eines Orgelblasebalges, so werden die Abwechselungen hinlänglich schnell, um einen Ton hervorzubringen, der gewöhnlich rauh und sehr unangenehm ist, wenigstens wenn man bei diesem Grade der Einfachheit in der Einrichtung des Apparates stehen bleibt. Die größere oder geringere Höhe dieses Tons hängt hauptsächlich von der Länge ab, welche die Zunge von ihrem Befestigungspuncte an hat; ferner von ihrer Elasticität, ihrem Gewichte, ihrer mehr oder weniger nach außen concaven Krümmung: denn bei Veränderung jedes dieser Elemente ändert sich auch die Tonhöhe, in welcher das Mundstück erklingt.

Es verdient wohl bemerkt zu werden, daß es nicht die Zunge an sich ist, die durch ihre eigenthümlichen Schwingungen die Rinne des Mundstücks wechselsweis öffnet und schließt; sondern die Luft, welche sie dagegen und wieder davon zurück treibt. Die Tonhöhe beruht auf der größern oder geringern Schnelligkeit dieses wechselsweisen Anschlagens und Zurückgehens. Wenn der Befestigungspunct so wie die Länge der Zunge unveränderlich sind, so wird die Luft eine um so größere Kraft nöthig haben, sie gegen die Rinne zu treiben, je weiter dieselbe von der Rinne absteht. Die Vergrößerung dieser Entfernung wird mithin ein selteneres Anschlagen und eine Erniedrigung des, dadurch hervorgebrachten, Tons zur Folge haben müssen.

Auch lehrt die Erfahrung, daß dies sich stets so verhält. Dagegen wird sich der Ton durch Verkürzung des freien Theils der Zunge, bei übrigens ungeänderter Anordnung, erhöhen lassen, weil dann ihr Ende einen kürzern Weg zu durchlaufen hat, um sich der Rinne zu nähern, so wie um sich davon zu entfernen. Diese Abänderungen in der Länge bewerkstelligt man mittelst eines gebogenen Eisendrahts Ff, die Krücke (rasette) genannt, der an die Zunge angefügt ist, und sie gegen die Rinne durch seine Federkraft angedrückt erhält. Durch Aufwärts- oder Abwärtsschieben der Krücke versetzt man den Befestigungspunct der Zunge in größere Nähe oder Ferne von ihrem freien Ende, und der Ton wird erhöht oder erniedrigt; nicht aber im Verhältniß des Quadrats der Längen der Zunge, wie ich mich durch Erfahrung überzeugt habe; welches vollends beweist, daß das Spiel des Mundstücks sich nicht auf das elastischer Streifen zurückführen läßt, die an einem Ende frei, am andern befestigt sind, und vermöge ihrer eignen Elasticität schwingen. Uebrigens ist die Tonhöhe des Mundstücks durch die Schnelligkeit der Schläge, deren es fähig ist, so fest bestimmt, daß sie die nämliche bleibt, durch welches Gas man auch das Mundstück zum Tönen bringen mag.

Der Luftstrom, der die Zunge zum Schwingen bringt, wirkt nicht allein im Hindurchstreichen durch die Rinne auf dieselbe, sondern modificirt auch ihre Bewegungen je nach der geringern oder größern Schnelligkeit, mit der er ausströmt und neuer Luft Platz macht. Eine nothwendige Folge von dieser wechselseitigen Gegenwirkung ist, daß die Gestalt der, an die Mundstücke angesetzten, Pfeifen einen sehr bedeutenden Einfluß auf die Beschaffenheit ihrer Töne äußert. Die hellsten Töne erhält man durch kegelförmige Pfeifen, die sich nach der äußern Luft zu erweitern, Fig. 47. Ein umgekehrter Kegel Fig. 48, giebt einen dumpfen Ton. Zwei solche Kegel aber, mit ihren Grundflächen aneinandergesetzt, und an das Ende einer langen kegelförmigen Röhre gefügt, Fig. 49, geben dem Tone Rundung und Stärke. Ueberhaupt, wenn die Schwingungen des Mundstücks regelmäßig und wohltönend ausfallen sollen, müssen sie zu der Bewegung der Luft in der Röhre, in welcher das Mundstück tönt, passen. Vorzüglich bemerklich macht sich das Erforderniß dieser Bedingung bei langen und dünnen Röhren, wie bei dem Hautbois und der Clarinette. Auch sind diese Instrumente mit Seitenlöchern versehen, die, in Verbindung mit dem Zusammendrücken der Lippen, dem Musiker verstatten, die Einstimmung hervorzubringen, welche erfordert wird.

Der Ton der Mundstücke, so wie ich sie hier beschrieben habe, ist immer rauh und schreiend, wovon der Grund in dem Anschlagen der Zunge an die feste Masse des Mundstücks liegt; allein durch eine glück-

liche, eben so einfache, als sinnreich erdachte, Modification hat Grenié, ein einsichtsvoller Musikliebhaber, allen diesen Mängeln abgeholfen, und dafür den Mundstücken Eigenschaften gegeben, die ihnen zuvor abgiengen. Zu diesem Zweck verfertigt er den rinnenartig ausgehöhlten Theil des Mundstücks aus Holz oder Kupfer, aber mit scharfen Kanten und in Gestalt eines Parallelepipedums. Die Zunge wird durch einen vollkommen ebenen, und in Gestalt eines Rechtecks geschnittenen, Messingstreifen gebildet, so daß sie die offene Fläche des Mundstücks ganz oder fast ganz ausfüllt. Eine ausnehmend feste und massive Krücke rr hält diese Zunge in der gehörigen Höhe fest, und bestimmt unwandelbar den Punct, von welchem an sie schwingen muß. Setzt man nun dies Mundstück auf den Stiefel BCS und bläst durch das Loch S, so treibt die zusammengedrückte Luft, da sie zwischen der Zunge und den Wänden der Rinne keinen oder fast keinen Ausgang findet, die Zunge in die Rinne hinein. Nachdem nun eine kleine Luftmenge eingetreten ist, kehrt die Zunge vermöge ihrer natürlichen Elasticität zu ihrer ersten Lage zurück; so daß sie der Luft aufs Neue den Durchgang verschließt; allein die Geschwindigkeit, die sie bei dieser Rückkehr erlangt hat, bewirkt, daß sie sogleich über diesen Punct hinausgeht, und sich nach der entgegengesetzten Richtung entfernt, wobei sie die Luft vor sich hertreibt, bis der Widerstand, den sie erfährt, verbunden mit ihrem Elasticitätsbestreben, sie anhält und abermals zu ihrer ersten Lage zurückführt, von wo die Luft sie ein zweitesmal in die Röhre hineintreibt. Dies ist die Bewegungsart, wie man sie sich in ihrer größten Allgemeinheit vorstellen muß; und durch Hrn. Grenié's Gefälligkeit habe ich Gelegenheit erhalten, sie in der Erfahrung nachgewiesen zu sehen, indem er eins seiner Mundstücke in einen Stiefel von Glas setzte, so daß man die Schwingungen der Zunge beobachten konnte. Begreiflich müssen solche Schwingungen, wenn sie hinlänglich rasch erfolgen, einen Ton hervorbringen, eben so wie die Schwingungen an den gewöhnlichen Mundstücken, nur mit dem wichtigen Unterschiede, daß der Ton einen ohne Vergleich sanftern, wohltönendern, gleichmäßigern Klang erhält, weil der Kupferstreifen, anstatt an Holz, Kupfer oder Leder anzuschlagen, die immer einen ungleichförmigen und unsanften Widerstand leisten, hier blos eine vollkommen homogene, zusammendrückbare und elastische Flüssigkeit, wie die Luft, gegen sich selbst zurücktreibt. Auch bemerkt man an Grenié's Mundstücken nichts von dem rauhen und schreienden Ton, der an den gewöhnlichen so unangenehm ins Ohr fällt, und selbst bei den Instrumenten nicht ganz verschwindet, wo das Spiel des Mundstücks durch die Lippen modificirt wird. Ihre höchsten, wie die tiefsten Töne sind so sanft und rein als bei Flötenwer-

ken; und man sieht leicht ein, daß bei der Art, wie die Schwingungen an ihnen vorgehen, dem so seyn muß.

Ein andrer wichtiger Punct, der bei Grenié's Einrichtung in Betracht kommt, ist die Festigkeit der Zungen und der Krücken, durch welche sie gehalten werden. Die Stärke jeder Zunge ist in ein solches Verhältniß zur Weite der Oeffnung des Mundstücks gebracht, welche sie bedeckt, daß der Luftstrom, welcher auf sie drückt, ihr nie mehrere Biegungen um ihre Axe annehmen lassen kann; und da ihre Länge bei der Unverrückbarkeit der Krücke unveränderlich ist, so folgt daraus, daß, mit welcher Gewalt auch der Wind auf die Zunge drücken mag, die Tonhöhe unverändert bleiben muß. Ein verstärkter Wind hat also keine andre Wirkung, als die Zunge zu weitern Excursionen zu bringen und so den Ton anwachsen zu lassen; ein Anwachsen, welches der Orgelspieler in seiner Gewalt hat, indem er es mittelst eines Pedales regulirt, das einen, mit Federn versehenen, Blasebalg in Bewegung setzt. So vermag er nach Belieben schwache oder starke Töne hervorzubringen, und von einem dieser Extreme zum andern durch ein so regelmäßiges, so anhaltendes crescendo überzugehen, als mittelst der Stimme, oder solcher Instrumente, bei welchen der Ton durch das Spiel der Lippen modificirt wird, erreichbar ist.

Die Luft, welche die Zunge in Schwingung versetzt hat, entweicht durch offne, kegelförmig ausgeweitete und halbkugelförmig sich endigende, Röhren, Fig. 51. Diese Erweiterung giebt, wie schon erwähnt, dem Ton Rundung und Stärke. Hier, wie bei den gewöhnlichen Mundstücken, giebt es für jede Länge der Zunge eine Pfeifenlänge, die am vortheilhaftesten ist und welche die Erfahrung kennen lehrt. Weicht man zu sehr davon ab, so spricht das Mundstück schlecht oder gar nicht an. Grenié hat nach diesem Modell Zungenpfeifen verfertigt, die den Ton einer offenen sechzehnfüßigen Orgelpfeife mit einer wirklich bewundernswerthen Reinheit, Stärke und Regelmäßigkeit geben. In diesem Fall ist die Zunge ein Kupferstreifen von 0^m, 240 (8 Zoll 10 L.) Länge, 0^m, 035 (1 Zoll 3 L.) Breite und 0^m, 003 (1, 3 L.) Dicke. Ihre Schwingungen üben eine solche Gewalt aus, daß sie die Röhre, welche zur Verlängerung dient, den Stiefel, in den das Mundstück eingesetzt ist, selbst den Fußboden und alle, in der Nähe befindlichen, elastischen Körper zum Erzittern bringen.

Da sich nun aus dieser Theorie ergiebt, daß der Ton der Rohrwerke unmittelbar durch die Schwingungen ihrer Zungen hervorgebracht wird, und daß die Schnelligkeit dieser Schwingungen von den Dimensionen der Zungen abhängt, so erhellt, daß die Höhe des Tons

vollständig durch diese Umstände bestimmt ist, und unabhängig von der Beschaffenheit des Mittels, in welchem die Schwingungen vor sich gehen, so daß sich die Tonhöhe bei den Rohrwerken in allen Gasarten gleich bleiben muß. Wirklich zeigt sich auch dies durch die Erfahrung bestätigt. Um mich davon zu überzeugen, schraubte ich den Stiefel eines freien Mundstücks an einen Hahn mit weiter Durchbohrung, der an dem obern Theil einer Glasglocke angebracht war; und umhüllte die Ausgangsröhre mit einer Blase, die ich zusammengedrückt hatte, um die Luft herauszutreiben. Darauf setzte ich die Glocke über eine Wanne voll Wasser, Fig. 52, und senkte sie allmälig ein, so daß die Luft durch den Hahn in das Mundstück stieg, und es zum Ansprechen brachte. Ich bemerkte den Ton, den es unter diesen Umständen gab; nahm darauf die Blase ab, um alle hineingetretene Luft entweichen zu lassen, brachte sie wieder an ihre Stelle und füllte die Glocke mit Wasserstoffgas an, welches sich solchergestalt nur mit dem ganz geringen Antheil atmosphärischer Luft gemischt befand, d.n der Stiefel des Mundstücks enthielt. Ich tauchte nun abermals die Glocke in Wasser, so daß das Mundstück durch das Wasserstoffgas zum Tönen gebracht wurde; allein die Tonhöhe zeigte sich nicht im geringsten anders, als beim vorigen Male. Soll dieser Versuch gut glücken, so muß man sich eines freien Mundstücks, dergleichen die von Grenié sind, bedienen, weil dies die einzigen sind, die vermöge ihrer vollkommenen Einrichtung bei jeder Schnelligkeit des, durch sie hindurchstreichenden, Luftstroms sich auf der nämlichen Tonhöhe behaupten.

Die, hier in Bezug auf das Spiel der Mundstücke auseinandergesetzte, Theorie hat noch neuerlich ihre Bestätigung durch die Wirkungsart einer, von Cagniard Latour neu erfundnen und von ihm Sirene genannten, Maschine erhalten, welche in Fig. 53 dargestellt ist. Das Wesentlichste ihrer Einrichtung beruht darin, daß ein anhaltender Luftstrom durch eine kleine Mündung tritt, vor welche man eine, um ihre Mitte bewegliche, kreisförmige Scheibe anbringt, deren Rotationsbewegung entweder durch die Wirkung des Luftstroms selbst oder unmittelbare Anbringung einer mechanischen Potenz vermittelt wird. Die Scheibe ist an dem Theile ihrer Oberfläche, der successiv vor die Mündung tritt, mit einer gewissen Anzahl Oeffnungen durchbrochen, die eine schiefe Richtung gegen ihre Ebne haben, damit der Impuls des Luftstroms beim Durchstreichen durch dieselben so zerlegt werde, daß sich die Scheibe wie ein gewöhnliches Flugrad drehe. Diese Löcher sind übrigens in einen, mit der Axe concentrischen Kreis gereiht, und so gleich als möglich aus einander gestellt. Die Bewegung der Scheibe bringt diese Löcher successiv vor die Mün-

dung, aus welcher der Luftstrom heraustritt, und sie verstatten ihm hierbei den Durchgang. Allein da sie nur einen Augenblick auf der Richtung jedes Luftstrals verharren, so findet sich derselbe sogleich wieder durch die Ankunft des darauf folgenden vollen Zwischenraums aufgehalten. Diese Abwechslungen des Vollen und Leeren, die sich mit Schnelligkeit folgen, bringen also im Luftstrom gerade solche Intermissionen hervor, als die Schwingung der Zunge der Mundstücke, wenn sie die Rinne, durch welche die Luft entweicht, abwechselnd öffnet und schließt. Auch entsteht gleicherweise ein Ton dadurch, dessen Höhe, wie bei den Mundstücken, von der Anzahl der Intermissionen abhängt, die sich in der Secunde folgen. Die Sirene gewährt aber hierbei den Vortheil, daß sich die Bewegung der Scheibe messen und die Zahl ihrer Umdrehungen durch irgend ein mechanisches Mittel schätzen läßt; worauf man die Zahl der, in einer Secunde Statt habenden, Intermissionen nach der gegebenen Anzahl der Oeffnungen berechnen und diese Zahl mit der Höhe des dabei erfolgten Tons vergleichen kann; während bei den Mundstücken die Zahl der Schwingungen nicht meßbar ist. Durch einige Versuche, die Cagniard auf solche Weise anstellte, fand er die Schwingungszahlen der Theorie entsprechend. Er fand ferner, daß ein Strom von Wasser, der durch die Sirene hindurchgelassen wurde, genau denselben Ton darin hervorbrachte, als ein Luftstrom wenn die Zahl der Intermissionen in der Secunde die nämliche war; welches durch denselben Grundsatz erklärlich wird, auf dem das Gleichbleiben der Tonhöhe der Mundstücke beim Hineinblasen verschiedner Gasarten beruht.

Neuntes Capitel.

Ueber die Mittheilung der Schwingungsbewegungen.

Eine Zusammenstellung und Verallgemeinerung der, in den vorigen Kapiteln auseinandergesetzten, Thatsachen wird die Ansicht fassen lassen, daß alle Körper, welcher Beschaffenheit sie auch seyn mögen, wofern sie nur auf gehörige Art erschüttert werden, Schwingungsbewegungen annehmen können, deren Schnelligkeit, Stärke und Dauer von dem Aggregatzustande abhängen, durch den die Theilchen des schwingenden Körpers verbunden sind, von seiner mehr oder minder vollkommenen Elasticität, und endlich von der Gestalt seiner verschiednen Theile. Auch findet man, bei Untersuchung der musikalischen In-

strumente der verschiednen Nationen, daß fast alle bekannte Stoffe zu ihrer Verfertigung benutzt worden sind.

Dieser Schwingungszustand, der in der Luft die Schallwellen erzeugt, läßt sich allen Körpern nicht allein durch Wirkung einer unmittelbaren Erschütterung einpflanzen, sondern man kann sie auch durch Mittheilung in denselben versetzen, indem man sie in Berührung mit schwingenden Körpern bringt, deren Oscillationen sie theilen. So erzittert der trockne und elastische hölzerne Kasten, welcher den Körper der Violine, des Pianoforte's, der Harfe, des Basses bildet, mit Widerhall, wenn die Saiten dieser Instrumente beim Tönen ihren Einfluß auf ihn ausüben; und je nachdem sein Gefüge ihn für diesen Einfluß mehr oder weniger empfänglich macht, giebt er den Ton, den die Saiten für sich ursprünglich schwach hervorgebracht haben, mit mehr oder weniger Völle und Richtigkeit verstärkt wieder. Um diese Erscheinung recht merkbar zu machen, muß man sich einer eisernen Stimmgabel bedienen, wie sie in Fig. 20 vorgestellt ist, und wie man sie braucht, die Tonhöhe welche die Fortepiano's erhalten sollen, festzustellen. Nachdem man sie mehreremale für sich hat schwingen lassen, und die Stärke des Tons bemerkt, den sie hervorbringt, stelle man sie auf den Kasten des Pianoforte's, in dem alle Metallsaiten eingeschlossen sind. Sogleich wird der Ton, ohne Veränderung seiner Höhe, lauter werden, und eine Stärke erlangen, die er vorher bei Weitem nicht besaß. Will man diese Verstärkung noch auffallender machen, so setze man die Stimmgabel erst auf den Kasten, nachdem ihr eigner Ton so weit geschwächt ist, daß man ihn für sich kaum mehr hört; sogleich wird er wieder vernehmlich werden; ja lauter, als ihn die Stimmgabel beim Anfang ihrer Schwingungen in der Luft für sich gab. Es leuchtet ein, daß hierbei die Schwingungsbewegung der Stimmgabel sich durch die Luft und den festen Stoff, aus dem der Kasten besteht, allen den Metallsaiten mittheilt, die ihrer Totallänge oder ihren Unterabtheilungen nach in dieselbe zu gerathen vermögen; so wie sie sich auch der Substanz des Kastens selbst mittheilt; denn legt man die Hand auf die Breter, aus denen er besteht, so fühlt man ihre Erzitterungen.

Von welcher Art aber ist die Bewegung, die dem Resonanzboden, sey es durch eine über ihn hinweg gespannte Saite oder auch durch einen daraufgesetzten schwingenden Körper, wie die Stimmgabel, mitgetheilt wird? Um sich hierüber zu belehren, stellte Savart folgenden Versuch an. Ueber ein recht dickes hölzernes Lineal, Fig. 54, spannt man eine Violinsaite, die man über einen hölzernen Steg gleich dem der gewöhnlichen Violinen laufen läßt; anstatt aber die Füße dieses Stegs auf das Bret selbst aufzusetzen, auf welchem die Anheftungs-

puncte der Saite befindlich sind, läßt man sie von einer runden Bleischeibe tragen, deren untere Fläche vom Bret durch zwei kleine Klötzchen von Kork oder Holz geschieden ist. Nach so getroffener Anordnung streut man feinen und trocknen Sand auf die Scheibe, und lockt durch Streichen mit einem Bogen einen Ton aus der Saite hervor. Sogleich geräth der Sand in Bewegung, wie bei den Chladnischen Versuchen, und ordnet sich eben so in eine bestimmte Klangfigur an. Aendert man den Ton der Saite durch größere Spannung oder durch Nachlassen derselben, so ändert sich auch die Klangfigur, und selbst bei den geringsten Abänderungen in der Tonhöhe treten entsprechende Abänderungen der Klangfigur ein. Wie man sieht, geräth bei diesem Versuche die Oberfläche der Metallscheibe, auf welcher der Steg ruht, ganz und gar in Bewegung durch den Einfluß, den sie durch die Pulsationen des letztern erfährt; und ihre Bewegung muß hierbei dieselben Perioden als diese Pulsationen halten. Sie theilt sich dem zufolge ab, um dieser Bedingung Genüge zu leisten; und die Knotenlinien, die sich auf ihrer Oberfläche bilden, sind in jedem Fall solche, durch welche sie auf die, zu der Schwingungsart, der sie sich anpassen muß, erforderliche Art abgetheilt wird. So erfolgen ihre Excursionen synchronistisch mit denen der Saite, von der ihre Bewegung durch Mittheilung ursprünglich vermittelt wird; und wahrscheinlich findet umgekehrt ein rückwirkender Einfluß auf die Saite durch die Schwingungsart Statt, in welche nicht nur die Scheibe, sondern auch das hölzerne Lineal, auf welchem sie ruht, und selbst die Unterlagen, die das Ganze unterstützen, gerathen. Die Saite, die Scheibe, das Lineal und die Unterlagen stellen so ein, ein Ganzes ausmachende, System dar, dessen Swingungen unter einander zusammenstimmen, obwohl sie auf verschiedne Art vor sich gehen. Die Höhe oder Tiefe des Tons, den dieses System von sich giebt, und welcher von der Schnelligkeit, mit der es seine Schwingungen vollbringt, abhängt, wird ursprünglich durch die, der Saite ertheilte, Spannung bestimmt, und seine Intensität hängt von der Summe der Impulse ab, welche der umgebenden Luft durch alle schwingenden Theile des Systems eingepflanzt werden.

Welches ist nun aber der Mechanismus, durch welchen die, der Saite durch den Bogen unmittelbar ertheilte, ursprüngliche Erschütterung sich zum Steg und von da zur Scheibe fortpflanzt? Diese Frage hat Savart durch die beiden folgenden Versuche aufs Befriedigendste gelöst. Auf eine feste Unterlage PP', Fig. 55, befestigt er senkrecht zwei fichtene Breter SP, S'P'; fügt dann an S'P' in S' ein Bretchen, parallel mit der Unterlage, was aber kürzer als diese ist, an, und schließt die Verbindung von S' mit S noch vollends

durch eine Violinsaite, die er mit einem Ende an S, mit dem andern an C, dem Endrande des Bretchens CS' befestigt. Nachdem er nun dies Bretchen mit trocknem und feinem Sande bestreut hat, streicht er die Saite CS mit einem Bogen, dem er successiv verschiedne Neigungen gegen die Oberfläche des Bretchens giebt. Diese Verschiedenheit, welche die Tonhöhe des Systems ungeändert läßt, bringt verschiedne Knotenlinien auf dem Bretchen CS' hervor. Wird der Bogen parallel mit der Oberfläche des Bretchens bewegt, so zeigt die Bewegungsart des Sandes, daß seine Schwingungen tangential sind; auch haben die Knotenlinien die, dieser Schwingungsart zukommende, Gestalt und sind auf den beiden entgegengesetzten Flächen dissymmetrisch. In dem Maße als der Bogen geneigt wird, ändert sich auch ihre Gestalt; hat er endlich eine, auf die Oberfläche des Bretchens senkrechte, Richtung angenommen, so deutet die Bewegung des Sandes auf eine ganz normale Schwingungsart, auch sind die Knotenlinien so beschaffen, wie sie bei einer solchen Schwingungsart seyn müssen und entsprechen sich genau auf den beiden Gegenflächen des Bretchens. Alles dies zeigt mithin aufs Deutlichste, daß die Saite den Theilchen des Bretchens in C die nämliche Richtung der Bewegung einpflanzt, nach welcher sie selbst schwingt; daß diese Theilchen sie zunächst ihren benachbarten mittheilen, diese wieder andern, und so fort durch das ganze Bretchen hindurch, mit Beibehaltung immer der nämlichen Richtung.

Dies wichtige Resultat findet seine Bestätigung auch noch durch einen andern Versuch Savarts, der durch Fig. 56 erläutert wird. PP' ist auch hier ein fester Träger, an welchen, wie vorhin, zwei fichtene Bretchen PS, P'S' in senkrechter Richtung befestigt sind. Die Enden S, S' dieser beiden Bretchen sind aber durch eine Violinsaite verbunden, welche durch die Mitte einer kreisförmigen Holzscheibe AA geht, die an der Mitte der Saite durch bloße Reibung festgehalten wird. Man hält den Apparat so, daß die Saite vertical, die Scheibe horizontal ist, bestreut letztre mit feinem und trocknem Sande, und streicht die Saite der Quere nach mit einem Violinbogen. Sogleich zeigt sich durch die Bewegungen des Sandes auf der Scheibe und die Gestalt der Knotenlinien, daß in der Scheibe Längenschwingungen vorgehen. Auch sonst ist immer die Richtung der Bewegungen des Sandes der Richtung der Bewegungen des Bogens parallel; und die constante Klangfigur, welche sich auf der Scheibe bildet, ändert sich zugleich mit dieser Richtung ab, welches ganz auf die nämlichen Gesetze der Mittheilung führt, die uns durch den ersten Versuch angedeutet worden waren.

Diese Totalschwingung, in welche Scheiben und Streifen aus fe-

ster Masse in Folge mitgetheilter Bewegung gerathen, ist ein Resultat von großer Wichtigkeit in Bezug auf die uns beschäftigende Frage; indem es auf augenscheinliche Weise die Erschütterungsart nachweist, in welche die Resonanzböden der musikalischen Instrumente durch den Einfluß der, über sie hinweggespannten, Saiten gerathen. Diese Resonanzböden schwingen hienach auch nach Art der Scheiben, d. h. indem sie sich in verschiedne schwingende Theile abtheilen, die durch den Ton, den sie hervorbringen müssen, bestimmt sind, und deren Größe und Gestalt von der Gestalt des Resonanzbodens und dem Grade der Elasticität, mit dem seine verschiednen Theile begabt sind, abhängt. Savart hat diese Resultate auf das Entscheidendste an einer Violine aus ebenen Holztafeln dargethan, auf welche er feinen und trocknen Sand streute; strich er nämlich mit einem Bogen eine der darüber gespannten Saiten, so erzitterten die Tafeln sogleich in ihrer ganzen Ausdehnung und theilten sich von freien Stücken in verschiedne Theile ab, welche durch Knotenlinien geschieden waren, nach denen der Sand hinfloh, und deren Gestalt sich mit der Höhe des Tons, den die Saite gab, abänderte. Es ist hieraus ersichtbar, von wie großem Einfluß die glückliche Wahl eines Holzes mit beweglichen und leicht erregbaren Fasern auf die Güte musikalischer Instrumente seyn muß; allein nur durch die Erfahrung kann man sich von diesen Eigenschaften versichern. Man hat im Allgemeinen klingende, trockne, elastische, recht gleich gefaserte Hölzer zu wählen und durch ähnliche Versuche, als die hier beschriebenen, zu prüfen, ob sie in allen ihren Theilen gleichförmig klingend sind. Und nach allem diesen muß man noch geeignete Saiten für das Instrument aufsuchen, indem manche Saite schlecht auf einer Violine klingt, die einen guten Ton auf einer andern giebt. Es scheint auch, als ob durch die Zeit die Resonanztafeln an Vollkommenheit gewännen und ihre Fibern durch öftere Bewegung mehr Leichtigkeit erhielten in dieselbe zu gerathen. Für geübte Ohren sind diese Verschiedenheiten so bemerklich, daß ein geschickter Violinspieler mit geschlossenen Augen Violinen, die von einem geschickten Verfertiger derselben, wie Amati oder Guarnerius herrühren, blos nach der Beschaffenheit ihres Klanges zu unterscheiden vermag, und umsonst würde der eine Nachbildung derselben versuchen, dem nicht eben so vollkommene Materialien zu Gebote ständen. Eine Violine von Amati kann man zwanzigmal aus einander nehmen, ohne daß sie etwas von ihren Vorzügen verliert. Bildet man, nachdem man sie in diesen Zustand versetzt hat, jedes einzelne Stück derselben mit der ängstlichsten Treue nach, so wird man zwar dadurch ein Instrument von ganz gleicher Gestalt erlangen können; allein setzt man nun beide zusammen, so wird sich bei Prüfung derselben die erstre

immer als eine vortreffliche Violine zeigen, während die zweite sehr mittelmäßig, oder wohl gar schlecht seyn kann.

Die Mittheilung der Schwingungen bei den musikalischen Instrumenten geschieht nicht allein auf unmittelbarem Wege von den erschütterten Saiten zu den Tafeln, an welche man sie befestigt, sondern erfolgt auch durch alle feste Zwischenkörper hindurch, welche mit dem Instrument selbst ein Ganzes ausmachen. Auch dies hat Savart durch eine Menge sinnreicher Versuche aufs Klarste dargethan. Man nehme z. B. zwei kreisförmige Scheiben von Holz von gleichen Dimensionen und von der nämlichen Beschaffenheit, so daß beide den nämlichen Ton durch die nämliche Schwingungsart hervorbringen, wenn sie jede für sich erschüttert werden. Man verbinde beide Scheiben mit einander durch ein, in ihrer Mitte und senkrecht auf ihre Ebene mit etwas Siegellack oder festem Mastix zu befestigendes, Holzstäbchen, fasse dies Stäbchen mit den Fingern, so daß beide Scheiben horizontal werden, bestreue ihre obern Flächen mit feinem und trocknem Sande, und versetze nun eine derselben in Schwingung, indem man ihren Rand mit einem Violinbogen streicht. Die gestrichene Scheibe theilt sich auf eine gewisse Art ab, welche von dem Ton, den sie giebt, abhängt, und durch den Sand bemerklich gemacht wird, der sich auf den Knotenlinien sammelt. Die andre Scheibe nun, die nicht unmittelbar erschüttert wurde, und nur durch den gemeinschaftlichen Stiel eine Bewegung mitgetheilt erhalten konnte, theilt sich ebenfalls von freien Stücken und auf die nämliche Art als die erste Scheibe ab, wie sich aus der Anordnung des Sandes auf ihrer Oberfläche ergiebt; und wenn sie, anstatt mit der ersten für sich gleichtönend zu seyn, von ihr im Durchmesser oder der Dicke abweicht, so nimmt sie, in Rücksicht auf die Verschiedenheit dieser Elemente, eine solche Untereintheilungsart an, daß sie doch noch den nämlichen Ton giebt. Savart fand, daß sich diese Fortpflanzung nicht blos auf zwei Scheiben und einen einzigen Stiel beschränkt, sondern eben so durch eine beliebige Anzahl untereinander angebrachter Scheiben und Stiele hindurch Statt hat. Die, ursprünglich einer einzigen eingepflanzte, Schwingungsbewegung pflanzt sich zu allen andern mit derselben Leichtigkeit fort.

Ein bemerkenswerther, von Savart nachgewiesener, Umstand ist, daß die Töne eines solchen Systems von Scheiben etwas von dem Tone abweichen, den jede einzelne Scheibe geben würde, wenn sie für sich auf die nämliche Art schwänge; er fand, daß eine solche Modification der zugehörigen Tone überhaupt bei der Bewegung der Körper, die durch ihrer Verbindung zugleich zu schwingen genöthigt sind, Statt hat.

Diese Mittheilung der Bewegung unter den verschiednen Körpern, welche zusammen ein System von fester Masse bilden, geschieht bald durch transversale bald durch longitudinale Schwingungen, wie die, dem Sand durch dieselben eingepflanzte, Richtung beurkundet. Dies durch ein genügendes Beispiel nachzuweisen, wollen wir, nach Savart's Vorgange, den Fall vor Augen nehmen, wo das System aus irgend einer Zahl flacher Glasstäbe besteht, die rechtwinklich über einander, nach der in Fig. 57 vorgestellten, Art angeordnet sind. Setzt man nun den ersten Stab AB in Schwingung, gleich viel ob transversal oder longitudinal, so wird die Bewegung durch successive Mittheilung zu allen andern Stäben fortgepflanzt, so daß sie immer abwechselnd in denselben als transversale oder longitudinale Schwingungsart auftritt. Wird z. B. der erste Stab des Systems der Quere nach mittelst eines Bogens erschüttert, so geräth er in transversale Schwingungen, die mithin nach der Längenrichtung des zweiten, auf den ersten senkrecht aufgesetzten, Stabes vorgehn, und indem sie an sein Ende antreffen, dieselbe Wirkung auf ihn ausüben, die ein fester Cylinder, der ihn nach der Richtung seiner Länge an seinem Ende stieße, hervorbringen würde; d. h. sie versetzen ihn in longitudinale Schwingungen. Gelangen nun diese zum dritten Stabe, so treffen sie ihn in einer, auf seine Länge senkrechten, Richtung und bestimmen ihn dadurch zu einer transversalen Bewegung, die hinwiederum den folgenden Stab longitudinal erschüttert; und in welcher Anzahl immer die Stäbe vorhanden seyn mögen, stets wird sich die ursprüngliche Erschütterung auf solche Art successiv zu allen, einmal als longitudinal, das andremal als transversal auftretend, fortpflanzen. Würde dagegen der erste Stab longitudinal erschüttert, so würde nach demselben Gesetze der mit sich parellelen Fortpflanzung, der zweite Stab in transversale, der dritte in longitudinale Schwingung gerathen u. s. f. Diese successiv eintretenden relativen Umwandlungen der Bewegungen erfolgen mit vollkommner Regelmäßigkeit und einmal wie das andre; denn bildet man ein System, in welchem alle Stäbe, die auf der Stufe der ungeraden Zahlen in der Reihenfolge stehen, so wie alle, die Stufen der geraden einnehmende, unter sich dem Stoff und den Dimensionen nach gleich, obwohl die eine dieser Reihen von der andern verschieden sind, so ergiebt sich aus der Ansicht der Knotenlinien und der Bewegungen, die der Sand annimmt, daß alle Stäbe einer und derselben Reihe genau die nämliche Schwingungsart annehmen und mithin den nämlichen Ton geben. Es müssen übrigens, dem oben Erwähnten zufolge, diejenigen dieser Stäbe, welche in longitudinale Schwingung gerathen, vermöge der Art ihrer Bewegung, auf ihren beiden Flächen ungleich angeordnete Knoteuli-

nien zeigen; was auch die Erfahrung wirklich bestätigt. Leicht kann man sich davon überzeugen, wenn man den Versuch mit dem Aufstreuen des Sandes erst in einer Lage des Systems vornimmt, und dann nach verticaler Umkehrung desselben wiederholt; man findet hiebei, daß dieser Gegensatz der Knotenlinien von einem Stabe zum andern durch die ganze Reihe in abwechselnder Folge durchgeht; so daß sich das nämliche System von Knotenlinien immer auf den, einander zugekehrten, Flächen bildet; wonach denn die Flächen, die nach derselben Seite des Raums hinsehen, wechselsweis verschiedne Systeme von Knotenlinien zeigen. Wie viel Elemente man übrigens zu dem Systeme rechtwinklich zusammengefügter Stäbe übereinander bauen mag, stets wird, wenn man den ersten Stab immer auf die nämliche Art erschüttert, auch der letzte immer in die nämliche Schwingungsart gerathen, durch wie viel Abwechslungen auch beide geschieden seyn mögen; und die Bewegungsart des letzten findet sich sonach einzig durch die Beziehungen bestimmt, in denen er zu dem, unmittelbar mit ihm in Verbindung befindlichen, Stabe steht.

Dieser Versuch Savarts ist in so fern von großer Wichtigkeit, als er aufs Deutlichste zeigt, daß die Schwingungsbewegung durch die successiven Umwandlungen, die sie erfährt, in ihrer ursprünglichen Periodicität nicht abgeändert wird. Hieraus fließt unmittelbar eine sehr schwierige Aufgabe für die Mechanik; nämlich zu zeigen, wie die longitudinalen Schwingungen, die in frei schwingenden Streifen im Allgemeinen ohne Vergleich rascher geschehen als die transversalen bei gleichen Längen der Streifen, sich doch unter diesen Umständen so zu modificiren vermögen, daß die secundären Erschütterungen, die sie hervorbringen, die für die transversale Bewegung erforderliche Langsamkeit haben, welche durch die Beschaffenheit des entstehenden Tons beurkundet wird, und wie umgekehrt die transversalen Schwingungen sich so modificiren können, daß sie durch ihren Stoß die, den longitudinalen Schwingungen zukommende, Schnelligkeit wieder hervorbringen? Die Ansicht der Knotenlinien ist das einzige Mittel, wodurch man zur Kenntniß, wo nicht der mechanischen Art des Vorgangs, wenigstens des Resultats, zu dem diese successive Umwandlung führt, gelangen kann. Nun fand Savart bei Anstellung dieser Beobachtung, daß die Knoten auf den longitudinal schwingenden Stäben des Systems weiter aus einander rücken, auf den transversal schwingenden dagegen näher zusammentreten; so daß die longitudinale Bewegung der erstern mit einer solchen überkommt, die freien Stäben von einer weit größern Länge angehören würde, während die transversale Bewegung der andern von der Art ist, wie sie weit kürzern freien Stäben zukäme; woraus eine Compensation hervorgeht, welche den Isochronismus der

Perioden dieser beiden Schwingungsarten, und mithin das Uebereinstimmen ihrer Töne bestehen läßt. Ueberhaupt gilt in dieser Hinsicht der, von Savart nachgewiesene, allgemeine Satz, daß, wenn ein elastischer Streifen von Holz, Glas oder Metall an einen festen Körper von so bedeutender Masse befestigt ist, daß er den, letzterm zugehörigen, Ton nicht merklich zu modificiren vermag, er eine solche Disposition annimmt, bei welcher er Schwingungen ausüben kann, die mit den, für diesen Ton erforderlichen, isochronisch sind; und ist ihm z. B. eine solche Stellung gegeben, daß er longitudinale Schwingungen machen muß, wenn der Körper, mit dem er in Verbindung steht, transversale vollbringt, so zeigen die, auf seinen beiden Flächen sich bildenden, Knotenlinien genau die Gestalt und die Abstände, die sie an einem Stabe von gleicher Breite und aus demselben Stoffe haben würden, dessen Länge so beschaffen wäre, daß er frei schwingend selbst den gehörten Ton hervorgebracht haben würde. Dieser, so wie mehrere ähnliche, Versuche ließen Savart den sehr wahrscheinlichen Schluß ziehen, daß überhaupt, wenn ein System unwandelbar mit einander verbundner Körper in eine schwingende Bewegung kommt, welche einen anhaltenden und vernehmbaren Ton zur Folge hat, alle Theile dieses Systemes gleichzeitige Bewegungen annehmen, die vollkommen die nämliche Periode halten, und mithin auch vollkommen gleiche Töne hervorbringen. Nach dieser Bemerkung erklärt sich sehr wohl, wie unter gewissen Umständen die Bewegung schwingender Körper durch Anfügung neuer Massen an dieselben, manchmal verzögert, andremal beschleunigt, und dadurch ihr Ton erniedrigt oder erhöht werden kann. Der erste Fall hat Statt, wenn der angefügte Körper vom schwingenden blos wie eine träge Masse mit fortbewegt wird; der andre, wenn er auch für sein Theil in Schwingung geräth, und dadurch auf den Körper, der ihn zuerst angeregt hatte, zurückwirkt.

Zum Schluß dieser Erörterungen über die Mittheilung der Schwingungen durch feste Körper führe ich noch einen interessanten Versuch von Breguet an, der ihre Wirkungen in das vollste und auffallendste Licht setzt. Breguet hat Uhren verfertigt, welche er Doppeluhren (montres doubles) nennt, weil sie in einem einzigen Gehäuse von gewöhnlichen Dimensionen zwei vollständige Räderwerke enthalten, die von einander ganz unabhängig, beide aber auf demselben metallnen Boden befestigt sind. Jedes dieser Räderwerke setzt Stunden-, Minuten-, Secundenzeiger in Bewegung, deren Gang ihm einzig unterthan ist. Obwohl nun dieser Gang in beiden Systemen sich niemals ganz gleich ist, wenn jedes für sich wirkt, so tritt doch, wenn man beide zusammen wirken läßt, und sie nicht sehr im Gange von einander abweichen, bald eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen

ihnen ein, vermöge des wechselseitigen Einflusses, der sich von einem Räderwerk zum andern durch den festen Boden der Uhr fortpflanzt, auf dem beide befestigt sind. Eine dieser Doppeluhren, welche drei Monat hindurch auf dem königlichen Observatorium beobachtet wurde, zeigte eine solche Uebereinstimmung in den Bewegungen ihrer Räderwerke, daß die beiden Secundenzeiger immer genau die nämliche Secunde angaben, ohne in dieser ganzen Zeit je einer hinter dem andern zurückzubleiben; obwohl vermöge kleiner, nicht zu vermeidender, Ungleichheiten, denen selbst die besten Chronometer ausgesetzt sind, der gemeinsame Gang des Doppelsystems leichte Abänderungen erfahren hatte; und was noch vollends beweist, daß diese bewundernswerthe Uebereinstimmung durch den wechselseitigen Einfluß der kleinen Schwingungsbewegungen hervorgebracht wird, welche sich von einem System zum andern durch den, beide tragenden, Boden fortpflanzen, ist, daß beide um so kräftiger einander reguliren, je näher an einander sie sich auf dieser Platte befinden; so daß man vermag einen um so größern Unterschied in dem Gange, den jedes Räderwerk für sich hat, durch ihre gegenseitige Einwirkung auszugleichen, je näher man sie einander rückt. Breguet glaubt, daß eine solche Verbindung zweier Räderwerke standhafter in seinem gleichförmigen Gange bleibt, als ein einziges, und besser fremden störenden Einflüssen widersteht.

Selbst die Luft wird, ungeachtet ihrer geringen Masse, fähig, ihre eignen Schwingungen auf solche Art mitzutheilen, wenn sie in Berührung mit Körpern kommt, die diese Schwingungsbewegungen anzunehmen und mit ihr zu theilen vermögen. Wir haben durch diese Mittheilungsweise erklärt, warum eine Saite zu erzittern anfängt, wenn man in ihre Nähe eine andre mit ihr außer Verbindung stehende, in eine Schwingungsart versetzt, deren sie selbst fähig ist, indem sie entweder ihrer ganzen Länge oder aliquoten Theilen nach in Bewegung geräth. So haben wir auch erwähnt, wie Savart in dieser Mittheilungsart ein Mittel fand, gespannte Membranen in regelmäßige Schwingung zu versetzen. Eben solche Wirkungen äußert die Orgel im Großen auf die elastischen Körper, die den Schallwellen, welche sie in der Luft erregt, große Oberflächen darbieten. Stellt man ein solches Instrument in ein Zimmer, so werden fast immer einige seiner Pfeifen in Einklang mit einer oder mehreren Fensterscheiben, manchmal wohl gar mit dem ganzen Fenster stehn. Dann fängt das Fenster, sobald man einen Ton auf diesen Pfeifen angiebt, zu erzittern und wiederzuhallen an, und der Ton wird hiedurch um ein sehr Bedeutendes verstärkt.

Auf eben so scharfsinnige, als entscheidende, Weise hat Savart diese Fortpflanzungsart auch in ihren Wirkungen auf elastische Mem-

branen, wie Papier- oder Pergamentblätter, welche über kreisförmige hölzerne Kasten ausgespannt wurden, verfolgt. Versetzt man eine feste Scheibe in einiger Entfernung von einer solchen, horizontal gehaltenen, und mit feinem und trocknem Sande bestreuten, Membran in Schwingung, so theilt sich diese der letztern, wie oben erörtert, sogleich mit; allein die Richtung und Art von deren Bewegung ändern sich hiebei ab je nach der Lage, die man der mittheilenden Scheibe gegen ihre Oberfläche giebt, auch wenn der Ton, den man dabei erhält, sich gleich bleibt; wie dies deutlich aus den Bewegungen des Sandes und der veränderten Gestalt der Lage der, sich auf der Membran bildenten, Knotenlinien erhellt. Gesetzt z. B. die mittheilende Scheibe werde durch den Bogen tranversal erschüttert und vertical, mithin senkrecht auf die Oberfläche der Membran, gehalten, so geräth diese in rein tangentiale Schwingungen, deren Richtung immer senkrecht auf die mittheilende Scheibe, mithin parallel mit der Bewegung des, die Theilchen zur Schwingung anregenden, Bogens ist; und dreht man die mittheilende Scheibe nach verschiednen Puncten des Horizonts, indem man sie immer vertical hält, so erfolgt eine entsprechende Drehung in der Richtung der Bewegungen der Membran; und eben so dreht sich auch die Klangfigur, obwohl ihre Gestalt an sich die nämliche bleibt, wenigstens wenn, wie unsre Voraussetzung war, die Membran kreisförmig ist, und der Ton sich nicht ändert. So wie man aber die mittheilende Scheibe etwas gegen die Oberfläche der Membran neigt, ändert sich auch deren Schwingungsart ab, und wird endlich ganz normal auf ihre Oberfläche, sobald die mittheilende Scheibe ihr parallel geworden ist. Jedes, in die Nähe der Membran gebrachte, Hinderniß, ein geneigtes Blatt Papier z. B., reicht hin, eine Abänderung in der Klangfigur hervorzubringen, indem es den freien Lauf der Luftwellen modificirt. Aus diesen Erscheinungen erhellt somit aufs Deutlichste, daß die Luft, indem sie die Membran in Schwingung versetzt, ihr dieselbe nach der nämlichen Richtung ertheilt, nach der ihr die eigene Bewegung eingepflanzt wurde, und welcher ihre Wellen folgen; so daß auch hier die Mittheilung der Bewegung ganz auf die nämliche Art, als zwischen festen Körpern Statt hat. Auch ließ sich dies schon voraussehen; denn da die Mittheilung successiv zwischen Theilchen geschieht, die, in welchem Körper man sie auch betrachten mag, jedenfalls von einander abgesondert sind, so muß die Richtung der mitgetheilten Bewegungen unabhängig von der größern oder geringern Annäherung der Theilchen seyn; und sich mithin in allen Naturkörpern gleich verhalten.

Anstatt durch feste Scheiben die Schwingungsbewegungen den Membranen mitzutheilen, braucht man diese auch nur neben die freie

Mündung einer, an beiden Enden offenen, Orgelpfeife zu stellen. Die, in der Luft um diese Mündung entstehenden, Wellenbewegungen bringen in der, so gestellten, Membran eine sehr energische tangentiale Schwingung hervor; und die Klangfigur dreht sich auf der Membran je nach den verschiednen Stellungen, die man dieser um die Pfeife giebt.

Man kann von den beschriebenen Erscheinungen eine vortheilhafte Anwendung zur Verstärkung der Wirkung von Orchestern in Schauspielhäusern machen; eine Umsicht, die nach J. J. Rousseau's Bericht in den italiänischen Theatern nicht vernachlässigt wird. Der Ort für die Musiker ist hier gewissermaßen selbst ein großes Instrument. Der Fußboden steht durch die kleinstmögliche Zahl von Puncten mit der festen Masse des Gebäudes, die zu schwer in Schwingung zu versetzen seyn würde, in Verbindung, berührt dieselbe vielmehr blos durch eine Art leichter Leisten, auf denen er in der Luft schwebend erhalten wird. Unter diesem Fußboden befindet sich ein hohles Gewölbe von ihm gleicher horizontaler Ausdehnung, welches stets leer bleibt. Die darin enthaltene Luft wird durch die Instrumente des Orchesters in Schwingung versetzt und giebt ihre Töne, wie ein großes Sprachrohr, verstärkt und vervielfältigt zurück. Da die Puncte, von welchen der Schall in der Höhlung zurückgeworfen wird und von welchen er ursprünglich ausgeht, immer nur in unbedeutender Weite auseinanderliegen, so gelangen die zurückgeworfenen und die directen Wellen zu den Zuhörern in so wenig unterschiednen Zeittheilchen, daß ihr Ohr keine merkliche Zwischenzeit zwischen ihnen unterscheidet; je nachdem aber die widerhallende Wölbung mehr oder weniger tief, und ihre Gestalt der Bauart des Saals mehr oder minder angepaßt ist, wird letztrer stärker oder schwächer hallen. Unter allen Fehlern übrigens, welche einem Theatersaale oder überhaupt einem, zu öffentlichen Versammlungen bestimmten, Gebäude den Hall benehmen können (assourdir), ist der schlimmste und gewiß einer der häufigsten, der, daß große Höhlungen unzweckmäßig in seinen Wänden angebracht sind, von welchen die Schallwellen verschlungen werden, ohne sich den übrigen Zuhörern anders mittheilen zu können, als höchstens durch späten und lästigen Nachhall, der die directen Tonwellen nur noch mehr schwächt. Die, von Savart entdeckten, Gesetze über die Mittheilung der Bewegung durch die Luft werden für Architecten von vortheilhafter Anwendung auf die Verbesserung solcher Baue seyn können.

Schon den Alten waren, wie es scheint, Mittel nicht fremd, die Verstärkung und Verbreitung der Töne zu bewirken. Theils Erfahrung, theils die Nothwendigkeit, zu solchen Hülfsmitteln ihre Zuflucht zu nehmen, um die Stimme der Schauspieler in ihren unge-

heuern und ganz unbedeckten Schauspielhäusern noch vernehmen zu können, mochte sie darauf geführt haben. Große Gefäße von Erz waren, wie man erzählt, an verschiednen Stellen ringsum vertheilt, durch deren Wiederhall der Ton in dem Grade verstärkt wurde, daß er sich überall vernehmlich und deutlich aussprach. Vitruvius bezeugt diese Thatsache, und beschreibt die Anordnung der Gefäße. Man kann sich indeß durchaus nicht vorstellen, wie hieraus eine solche Wirkung hervorgehen konnte. Ueberhaupt sind wir in unsern Kenntnissen in Betreff der Stärke der Töne noch sehr zurück; und es wäre sehr zu wünschen, daß dieses noch ganz brach liegende Feld der Physik von einem geschickten Experimentator bearbeitet würde.

Noch giebt es eine andre Art Wiederhall, welche gewissermaßen von der Beschaffenheit unsers Organs abhängt, und der darin besteht, daß ein Ton an Rundung und hellem Klange (éclat) gewinnt, wenn er durch seine Octave oder Quinte begleitet wird. Ich spreche hier nicht von dem Combinationstone, der sich immer beim Zusammentreffen zweier solchen Töne bildet, und nothwendig dazu beitragen muß, daß sie mehr ins Gehör fallen; sondern es ist hier von einer Erscheinung ganz andrer Art die Rede. Bringt man z. B. in einer angemeßnen Pfeife ein freies Mundstück, welches den Ton einer offnen sechszehnfüßigen Pfeife hat, zum Schwingen, und zwar für sich allein, so wird man einen tiefen und zugleich dumpfen Ton hören, der beinahe die Gränze der noch vernehmbaren Töne bildet; stellt man aber neben dieses Mundstück die höhere Octave desselben, die an sich immer noch einen sehr tiefen Ton hat, und läßt sie zusammen erklingen, so wird man finden, daß ihr Ton, bei derselben Tiefe, eine Kraft, Rundung und einen hellen Klang erlangt hat, die Verwunderung erregen können. Auch werden beim Orgelspiel so tiefe Pfeifen, wie die sechzehn- und zweiunddreißigfüßigen, nie allein gebraucht, weil ihr Ton kaum vernehmlich seyn würde. Immer läßt man sie von ihren höhern consonirenden Tönen begleiten. Die Ursach dieser Erscheinung kann, wenigstens zum Theil, in einer Thatsache begründet liegen, die Hamel entdeckt hat, und von welcher ich durch ihn selbst Zeuge geworden bin. Nämlich wenn mehrere Töne zugleich erklingen, so hört man außer ihrem Combinationston, der sich theoretisch berechnen läßt, noch andre höhere Töne, die mit den ersten eine aufsteigende Reihe bilden; sie sind deshalb vorzüglich bei Bässen bemerklich, wo die tiefern Töne verschwinden, verschwinden selbst aber bei den höhern Tönen, wo die ersten mehr Stärke erlangen.

Zehntes Capitel.

Werkzeuge des Gehörs und der Stimme.

Sind wir durch Erfahrungen und durch Zusammenstellung des durch Erfahrung Gegebenen dahin gelangt, die Gesetze, welche eine Classe von Naturerscheinungen gemeinschaftlich beherrschen, zu entdecken, und finden wir in den organischen Wesen Apparate, welche die Bestimmung haben, uns die Wahrnehmung dieser Erscheinungen möglich zu machen, so muß es ein Gegenstand des höchsten Interesses seyn, den Mechanismus dieser Apparate zu studiren und in Bezug zu unsrer Theorie zu betrachten; denn wie weit letztre auch im Wissen vorgeschritten seyn mag, immer bleibt sie noch hinter dem Wissen der Natur zurück, und wenn die Beobachtung von deren Wirken uns die Bestätigung dessen, was wir Wahrhaftes entdeckt hatten, hat finden lassen, so läßt sie uns doch noch genug Räthsel zu rathen übrig, über die es uns wünschenswerth seyn muß, ins Klare zu kommen. Diese Betrachtung, die sich dem Denker sehr leicht von selbst darbietet, hat mich veranlaßt, die Werkzeuge des Gehörs und der Stimme hier etwas näher ins Auge zu fassen. Was ich darüber sage, ist hauptsächlich aus Magendie's Grundzügen der Physiologie (Traité élémentaire sur la physiologie) und Cuviers Werk über die vergleichende Anatomie entlehnt.

Im Allgemeinen bestehen alle Sinnesapparate ihrem Wesen nach aus einem System äußerer Organe, welches die, von den äußern Gegenständen erregten, Eindrücke aufzufassen dient, und einem dahinter liegenden Nerven, der bestimmt scheint, dieselben zu unsrer innersten Wahrnehmung zu bringen. Man findet diese Anordnung bei den Apparaten des Gesichts, des Geruchs, des Getasts; nicht minder auch bei dem des Gehörs.

Vom Gehör.

Am Gehörorgan bemerken wir zuvörderst nach Außen einen Theil, der dem untern erweiterten Theile des Hörrohrs nicht unähnlich ist; denn wie ich schon angedeutet, unsre vollkommensten Instrumente sind gewöhnlich nur mehr oder minder glückliche Nachahmungen der Naturwerke. Dieser, nach Außen erweiterte Theil, verengert sich nach Innen allmälig in einen Gang (den äußern Gehörgang), der inwendig mit Haaren überkleidet wird, und in welchem die Absonderung einer zähen Feuchtigkeit (des Ohrenschmalzes) geschieht, die beide den Zweck zu haben scheinen, fremden Körpern den Eintritt zu verwehren. Der Grund dieses (nach Innen und vorwärts im Schläfenbein gehenden)

Ganges ist durch eine trockne und gespannte Membran vollkommen verschlossen. Diese wird auswendig durch eine Fortsetzung der äußern, hier dünner gewordenen, Haut überkleidet und führt den Namen Paukenfell oder Trommelfell (membrana tympani). Da die Schallwellen der äußern Luft sich nur bis zu dieser Haut erstrecken können, so hat sie wahrscheinlich die Bestimmung, dieselben aufzunehmen und zum Innern des Gehörorgans fortzupflanzen, eine Function, zu welcher sie sich vermöge ihrer Spannung sehr wohl eignet. Jedoch kann die Fortpflanzung des Schalls auch durch die, sie umgebenden, festen Theile geschehen; indem sie zerrissen, ja selbst gänzlich zerstört seyn kann, ohne daß das Hörvermögen, wie man wenigstens behauptet, merklich dabei leidet. Hinter dem Trommelfell liegt eine Höhle, welche den Namen Pauken- oder Trommelhöhle (cavitas tympani) führt. Sie hat mit dem Schlunde durch einen engen Gang (die Eustachische Röhre) Gemeinschaft; durch welchen die Luft aus dem hintern Theil des Mundes in sie ein- oder austreten kann. Diese Bedingung scheint selbst wesentlich zur Mittheilung des Schalls zu seyn; denn, wie man behauptet, hat die Verstopfung der Eustachischen Röhre Taubheit zur Folge. Vorzüglich merkwürdig aber sind die vier kleinen, in der Trommelhöhle enthaltenen, Knöchelchen, schlechthin Gehörknöchelchen (ossicula auditus) genannt, die man nach ihrer Gestalt durch die Namen, Hammer (malleus), Ambos (incus), linsenförmiges Bein (ossiculum orbiculare Sylvii) und Steigbügel (stapes) unterscheidet. Diese vier Knöchelchen stehen in Gelenkverbindung unter einander, so daß sie eine ununterbrochene Kette aus fester Masse bilden. Das am meisten nach Außen liegende Ende derselben wird durch den Hammer gebildet, der sich mit seinem Stiel (manubrium) an das Trommelfell ansetzt, das innerste Ende durch den Steigbügel, dessen flacher Fußtritt sich an eine Haut anlegt, die ein längliches, im Grunde der Trommelhöhle gelegenes, Loch, das eirunde Fenster (fenestra ovalis) genannt, verschließt. Dies Loch öffnet sich in eine größere Höhle, welche der Vorhof (vestibulum) genannt wird. Durch ein andres, mit einer trocknen Haut verschlossenes, Loch, das runde Fenster (fenestra rotunda), steht die Trommelhöle mit dem untern Gang der Schnecke (cochlea) in Verbindung, welches ein schneckenförmig gewundener knöcherner Theil ist, dessen Inneres durch ein dünnes spiralförmig verlaufendes Plättchen, die Spiralplatte (lamina spiralis), in einen obern Gang (scala vestibuli), der sich in den Vorhof hinter dem eirunden Fenster öffnet, und einen untern (scala tympani), der sich eben in der Trommelhöhle durch das runde Fenster endigt, geschieden wird. Außer dem obern Gange der Schnecke öffnen sich noch in

den Vorhof die drei, nach ihrer Gestalt so benannten, halbcirkelförmigen Canäle, in denen nach einigen Schriftstellern Körperchen von gräulicher Farbe, deren Nutzen man nicht kennt, enthalten seyn sollen, und außerdem bemerkt man noch in dem Grunde des Vorhofs zwei Gruben, eine runde (recessus hemisphaericus) und eine längliche (recessus hemiellipticus) die von häutigen Säckchen (sacculus hemisph. und hemiell.) ausgefüllt werden. Diese halbcirkelförmigen Canäle mit der Schnecke und dem Vorhof selbst bilden zusammen eine Höhle im festesten Theile der Knochensubstanz des Schläfenbeins, die nach Außen völlig geschlossen ist, und in ihrem Inbegriff den Namen des Labyrinths erhält, den sie wegen ihrer vielfach gekrümmten Gänge verdient. Das Innere dieser ganzen Höhle ist mit einer ausnehmend zarten Haut ausgekleidet, und ganz oder fast ganz mit Flüssigkeit angefüllt. Der Gehörnerv spaltet sich, zum innern Gehörorgan tretend, in zwei Zweige, deren einer (nervus cochleae) seine büschelförmigen Endigungen in der Schnecke, der andre (nervus vestibuli) im Vorhof, namentlich in den zwei häutigen Säckchen, welche die runde und längliche Grube auskleiden, und in gewissen blasigen Erweiterungen (ampullae) die die innere Haut des Labyrinths beim Uebergang in die halbcirkelförmigen Canäle bildet, hat, und hier in unmittelbarer Berührung mit dem Gehörwässerchen steht. Bei dieser Anordnung wird es begreiflich, wie die Schallwellen, die zunächst unmittelbar an das Trommelfell antreffen, durch die Luft der Trommelhöhle und die Gehörknöchelchen zu den Wänden des Labyrinths und von da mittelst des Gehörwässerchens zu den Verbreitungen des Hörnervens fortgepflanzt werden können. Die Erfahrung bestätigt diese Ansicht. Denn das Trommelfell kann zerstört, und die drei vordersten Gehörknöchelchen in Folge einer Krankheit losgetrennt seyn, ohne daß darum das Hörvermögen aufgehoben ist, wofern nur die Haut, welche das runde Fenster verschließt, unverletzt geblieben ist, und das vierte Knöchelchen, welches den Eingang zum Labyrinth verschließt, am eirunden Fenster noch fest sitzt. Fällt dies aber auch herab und zerreißt die Haut, welche das Labyrinth verschließt, so daß die, in demselben enthaltene, Flüssigkeit ausfließt, so folgt stets Taubheit nach. Das Vorhandenseyn des Hörnervens und seine Ausbreitung in einer Flüssigkeit, durch welche die Schallschwingungen zu dem Nervenmark, aus dem er besteht, fortgepflanzt werden können, sind sonach, diesen Thatsachen zufolge, die einzigen unerläßlichen Bedingungen, ohne welche kein Hören Statt finden kann.

Bei Untersuchung der Sprach- und Gesichtsorgane werden wir eine ähnliche Einrichtung finden, die eine Fortdauer der Sinnesempfindungen, auf die das Organ seinem Wesen nach abzweckt, noch mög-

lich macht, wenn auch mehrere seiner zartesten Theile zerstört sind. Gewiß gehört es nicht zu den unbeachtenswerthesten Beispielen der unendlichen Vorsicht, die im Bau der lebenden Wesen überall so sprechend zu Tage liegt, daß für die Erhaltung von Functionen, die von so großem Nutzen sind, ein solcher Bedacht genommen wurde. Aber eben diese tiefe absichtsvolle Maßregel, die wir hier entdecken, berechtigt uns zu dem Glauben, daß diejenigen Theile, deren Daseyn zur Erregung der Sinnesempfindung nicht unumgänglich erforderlich ist, die Bestimmung haben, das Auffassen derselben ihren einzelnen Modificationen nach zu einer größern Vollkommenheit zu bringen. Obgleich demnach das Hören noch Statt finden kann, wenn auch die drei ersten Gehörknöchelchen abgefallen sind, so läßt sich doch beim Anblick dieser so wohl ausgearbeiteten, so fein aufgehangenen, und mit mehrern Muskeln, die ihr Spiel an einander vermitteln, versehenen, Körperchen nicht zweifeln, daß sie irgend einen wichtigen Zweck haben. Wie schon gesagt nun, setzt sich das erste derselben, der Hammer, an das Trommelfell an, das letzte, der Steigbügel aber, mit seinem breitesten Theil, dem Fußtritt, an eine der Häute, welche die Oeffnungen zum Labyrinth verschließen. Man kann also die Vermuthung hegen, daß die Muskeln, welche diesen beiden Knöchelchen, so wie den beiden andern, angehören, den Zweck haben, die Kette mehr oder weniger anzuspannen, sey es durch Verkürzung, oder durch Verlängerung oder durch Krümmung derselben, und dadurch zugleich eine größere oder geringere Spannung der Häute zu bewirken, an welche sich die Knöchelchen ansetzen, um so das Hören zu modificiren. Einen sehr deutlichen Beleg für diese Ansicht giebt ein Versuch von Savart, der zugleich zeigt, von welcher Art diese Modification seyn könne. Savart spannt ein kleines Stück einer Membran über ein kleines rundes und kegelförmiges Kästchen (caisse) aus Pappe, und steckt in die Wände des letztern eine Nadel, deren Kopf bis nahe an die Membran reicht, während ihre, nach Außen hervorstehende, Spitze eine Art kleinen Hebels darstellt, mittelst dessen der Kopf nach Willkühr an die Haut angedrückt und deren Spannung dadurch erhöht werden, oder auch dieselbe frei und unberührt gelassen werden kann. Streut man nun auf diese Membran einige Sandkörner, und beobachtet die Bewegungen, die durch Mittheilung von einer außerhalb befindlichen, in Schwingung versetzten, Scheibe in ihr hervorgerufen werden, so findet man, daß dieselben ohne Vergleich stärker sind, wenn die Haut frei als wenn sie gespannt ist. Diesem zufolge müssen auch die, vom Gehörorgan aufgefaßten, Töne stärker oder schwächer erscheinen, je nachdem der Hammer weniger oder mehr gegen die Trommelhaut drückt; und die Kette der Gehörknöchelchen mit ihren Muskeln

scheint sonach einen Apparat zu bilden, bestimmt, die zu große Stärke der Töne zu mäßigen. Von höchstem Interesse würde daher die Untersuchung seyn, ob, wie mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, das Vermögen der Auffassung des Schalls bei den Individuen mit unterbrochener Kette der Gehörknöchelchen modificirt ist; ob sie z. B. schwerer hören, oder ob sie minder leicht die Höhe, die Stärke, den Klang, oder sonst andre Eigenthümlichkeiten der verschiednen Töne unterscheiden, welche dem, keinem seiner Theile nach verletzten, Ohre unterscheidbar sind. Eben so interessant würde eine Untersuchung mittelst ähnlicher Erfahrungen seyn, wozu die Körperchen dienen, die in den halbcirkelförmigen Canälen des Labyrinths enthalten seyn sollen, und welchen Nutzen die einfachen Krümmungen des Labyrinths selbst, so wie der zarte Bau seiner Wände haben.

Was die Gegenwart der Luft in der Trommelhöhle betrifft, so stellt Savart die Vermuthung auf, daß sie zum Zweck habe, das Trommelfell auf der nämlichen Temperatur zu erhalten (?!) und ihm somit eine gleichbleibende Spannung zu sichern, so lange der Hammer auf dasselbe den nämlichen Druck ausübt. Hiezu mitwirkend ist die Gemeinschaft, in welcher diese Luft mit dem hintern Theile des Mundes durch die Eustachische Röhre steht, neben welcher eine sehr starke Schlagader verläuft. Denn vermöge dieser Gemeinschaft erhält sich die innere Luft immer auf dem nämlichen Grade der Elasticität, welchen die äußere Luft hat, und bei derselben Temperatur, der des Bluts nämlich. Mit noch mehr Wahrscheinlichkeit läßt sich nach Savart der Zweck der kegelförmigen Gestalt des äußern Gehörganges so wie der vielfachen Windungen des, seinen Eingang bildenden, Ohrknorpels angeben. Er weist nämlich durch Versuche nach, daß, wenn man zwischen eine Membran und eine schwingende Scheibe, die ihr die Schwingungen aus der Ferne mittheilt, einen kegelförmigen Sprachtrichter bringt, die Schwingungen der Membran verstärkt werden, wenn die Spitze des Trichters gegen die Membran und seine Mündung gegen die, den Ton erregende, Scheibe gekehrt ist. Auf jeden Fall also hat die kegelförmige Gestalt des äußern Gehörganges einen ähnlichen Zweck, die schallenden Luftwellen nämlich zu concentriren. Nun haben aber Savarts Versuche gelehrt, daß eine und dieselbe schwingende Fläche, je nach der verschiednen Stellung, die man ihr zu einer Membran giebt, auf derselben verschiedne Knotenlinien hervorruft, mithin auch sie in verschiedne Schwingungsarten versetzt. Gelangten also die, in der Luft durch die schwingenden Körper erregten, Schallwellen unmittelbar, oder blos durch einen einfachen kegelförmigen Gang zum Trommelfell, so müßte jeder Körper verschiedne Bewegungen darin hervorrufen und mithin verschiedne Sin-

nesempfindungen veranlassen, je nach der Lage in der er sich außerhalb befände. Und somit würde die, durch einen und denselben Körper hervorgebrachte, Sinnesempfindung sich beständig ändern, wenn er blos seine Stelle vertauscht hätte, was mit sehr großem Uebelstande verknüpft seyn müßte. Allein, Savart's Versuche haben auch gelehrt, daß durch nahe an die Membran gestellte Hindernisse die Schwingungsarten abgeändert werden können, welche durch unmittelbar auf sie treffende Schallwellen hervorgerufen werden würden. Savart hält es für sehr wahrscheinlich, daß die Windungen des Ohrknorpels eine solche Anordnung haben, daß die letzte Richtung der, sich an ihnen brechenden, Luftwellen immer die nämliche wird, wenn sie zum Trommelfell gelangen, und daß dieser Umstand es ist, der die Empfindung des Tons, den irgend ein Körper giebt, unabhängig von der Lage macht, die man ihm in Bezug zum Ohre giebt.*)

---

*) Diese Ansicht wird offenbar dadurch entkräftet, daß bei Menschen mit abgeschnittenen Ohren, oder wenn man die Windungen des Ohrknorpels in andre Richtungen zieht, keine Abänderung der Tonwahrnehmung je nach den verschiednen Lagen des tönenden Körpers beobachtet wird. — Ließe sich nicht aber vielleicht annehmen, daß die verschiednen Schwingungsarten, in die das Trommelfell je nach der relativen Lage der Körper, Savarts Versuchen zufolge, versetzt werden zu müssen scheint, der Unterscheidung der verschiednen Richtungen, von denen der Schall herkommt, zu Grunde liegen? Denn verschiedne Knotenlinien können sehr wohl zu Einer Tonhöhe gehören, und dieselben kommen hiebei vielleicht blos einer Zerlegung der Richtung, in der die Schallwellen auf das Trommelfell treffen, gemäß modificirt zum Vorschein. — Ich füge folgende Zusätze über die Functionen einzelner Theile des Gehörorgans bei, die aus dem sechsten Bande von Treviranus Biologie auszugsweise entlehnt sind. Ueberhaupt wird man dort eine sehr ausführliche Belehrung über das Gehörorgan sowohl beim Menschen als im Thierreiche finden.

Treviranus macht gegen die gewöhnliche Ansicht, daß der Schall hauptsächlich durch die Kette der Gehörknöchelchen zum Labyrinth fortgepflanzt werde, nicht unerhebliche Einwendungen, und beschränkt die Fortpflanzung der Schallschwingungen von dem Trommelfell zum Labyrinthe blos auf die, in der Trommelhöhle enthaltene, Luft; oder giebt für jene nur eine schwache Mitwirkung zu. „Schon Fabr. ab Aquapendente erinnerte, daß alle hörbare Schwingungen leichter durch die Schädelknochen, als durch die Kette der Gehörknöchelchen dem Labyrinth mitgetheilt werden müßten, wenn sie überhaupt ohne Vermittlung der Luft zu diesen gelangen könnten, weil mehrere feste Körper, die durch weiche Substanzen (Bänder) mit einander verbunden sind, den Schall bei Weitem nicht so gut leiten, als er durch einen einzigen, nicht unterbrochenen Körper geleitet wird. Die Schwierigkeiten jener Meinung sind auch nicht gehoben, wenn man mit Valsalva annimmt, daß die Gehörknöchelchen bei der Leitung der Schalleindrücke als eine Verbindung von Hebeln wirken, in welcher durch die leiseste Bewegung des einen zugleich die übrigen bewegt werden. Eine solche mechanische Bewegung ist sehr verschieden von den Schwingungen, welche den Schall ausmachen. Für diese kann eine Kette von Hebeln kein besserer Leiter, als jede andre Kette seyn. — Wenn keine Leitung des Schalls durch die Gehörknöchelchen zum Vorhof geschieht, so wird das runde Fenster der Hauptzugang seyn müssen, durch welchen die Schallschwingungen der Luft zum Hörnerven gelangen. Das, von der Basis

Die Beobachtungen, die man über den Bau des Gehörwerkzeugs bei den verschiednen Thierklassen anstellen kann, bestätigen die allgemeine Ansicht, die wir von seinen Verrichtungen im Menschen gegeben haben. Ueberdies gewähren sie den Vortheil, das Verhältniß der Wichtigkeit der verschiednen Theile dieses Organs kennen zu lehren, je nach der größern oder geringern Allgemeinheit ihres Vorkommens.

Diesem Grundsatz zufolge ist der einzige, zum Hören streng wesentliche, Theil, der als solcher gelten muß, weil er allein keinem, mit Gehör begabten, Thiere fehlt, ein, in einem härteren Theile eingeschlossenes, mit Nervenmasse überzogenes und mit Wasser angefülltes, Säckchen. Alles Uebrige am Gehörwerkzeuge ist veränderlich und in den verschiednen Thierklassen bald mehr bald weniger entwickelt; daher es nur als unwesentlich betrachtet werden kann.

In den Krebsen ist das Gehörorgan noch weiter nichts, als ein solches Säckchen, eingeschlossen in einem kurzen, knöchernen, an der Grundfläche jeder größern Antenne befindlichen, Cylinder. An

---

des Steigbügels größtentheils verschlossene, eirunde Fenster ist wegen dieser Verschließung zur Aufnahme und Fortpflanzung der Schalleindrücke weniger geeignet; doch kann eirige Fortpflanzung durch die Stellen geschehen, wo sie nicht von der Knochensubstanz des Steigbügels bedeckt wird. Die Hauptbestimmung dieser Membran ist jedoch, meiner (Tre iranus) Ansicht zufolge, bei jeder Anspannung und Erzitterung des Trommelfells von dem Steigbügel gegen das Labyrinthwasser gedrückt zu werden, um das Fortschwingen des letztern nach einem Impuls desselben und das Nachklingen der Töne zu verhindern. Die Luft der Trommelhöhle nämlich und das Wasser des Labyrinths können nicht dem Gesetze entzogen seyn, unter welchem alle übrige feste und flüssige Körper bei ihren Vibrationen stehen, daß die Schwingungen nach aufhörender Einwirkung der ersten Ursache, wodurch sie erregt wurden, noch eine Zeitlang fortdauern, wenn sie nicht durch eine gegenwirkende Ursach gehemmt werden. Da nun im gesunden Zustande kein Nachklingen Statt findet, so müssen wir eine solche Gegenwirkung aufsuchen, und ich sehe nicht, worin diese anders zu finden seyn könnte, als in einem, durch die Anziehung des Steigbügels vermittelten, Druck der Haut des eiförmigen Fensters gegen jenes Wasser. —

Mir scheint bei dem jetzigen Stande unsers Wissens von der Fortpflanzung des Schalls und dem Wirken der Nerven nur dies sich aussagen zu lassen, daß die Nerven der halbcirkelförmigen Gänge mehr für die Empfindung des Schalls überhaupt, die der Schnecke mehr für die Wahrnehmung der Modificationen desselben bestimmt sind. — Die Schnecke mit den, zwischen ihren Spiralblättern sich strahlenförmig ausbreitenden und von ihrer Basis bis zum Gipfel allmälich an Länge abnehmenden Nerven hat eine nicht zu verkennende Aehnlichkeit mit einem Saiteninstrument. Für ein solches wird sie von mehrern genommen, und le Cat meinte, es gebe keinen Ton, der nicht mit einem Theil des Spiralblatts der Schnecke in Einklang stehe. (Hienach diente sie zur Unterscheidung der Tonhöhe). — Für den Nutzen der halbcirkelförmigen Kanäle hält Scarpa Aufnahme der, durch die Schädelknochen fortgepflanzten, Schallschwingungen; und Autenrieth und Kerner fügen zu dieser Ansicht noch hinzu, daß wir zugleich dadurch eine unmittelbare Empfindung von der Richtung des Schalls erhielten; doch fehlt es dieser Hypothese an zureichenden Gründen." —

dem innern Ende dieses Cylinders dringt der Hörnerv ein, der sich zum Säckchen verbreitet; das andre Ende ist äußerlich mit einer elastischen Membran verschlossen, an welche die Luft unmittelbar antrifft. Fast dieselbe Einrichtung hat das Gehörwerkzeug in der Sepien, nur enthalten hier die zwei häutigen, in zwei Gruben des Schädelrudiments liegenden, Beutelchen außer einiger Flüssigkeit noch ein festes Körperchen.*)

In den Fischen mit freien Kiemen wird das Gehörorgan zusammengesetzter. Es besteht aus drei halbcirkelförmigen Canälen, die in ein, in zwei Abtheilungen geschiednes Säckchen (dem Labyrinth zu vergleichen) münden, welches außer gallertartiger Feuchtigkeit drei steinharte Knochelchen enthält, die an Nervenfasern darin aufgehangen sind.

In den Fischen mit befestigten Kiemen ist das Säckchen in die Seitenwände des Schädels eingesenkt. Von der innern Seite desselben verläuft in einem Kanal ein blinder Fortsatz, dessen Ende durch ein, den Kanal verschließendes Häutchen bedeckt wird, über welches sich noch die äußere Haut legt. Die, im Säckchen enthaltenen, Knöchelchen sind ohne Consistenz und lassen sich zwischen den Fingern zerdrücken.**)

Die Amphibien haben drei Canäle und einen Sack, wie die Fische. Einige, wie das Crocodil, besitzen noch überdies einen kegelförmigen, durch eine Querwand in zwei Gänge geschiedenen, Anhang als Rudiment einer Schnecke.

Alle warmblütigen Thiere besitzen, wie der Mensch, ein zusammengesetztes Labyrinth, in welchem eine gemeinsame Höhle oder ein Vorhof, drei halbcirzelförmige Canäle, jeder mit einer Erweiterung (ampulla) im Vorhof einmündend, und ein, in zwei Gänge abgetheiltes, Organ, die Schnecke, befindlich sind. Knöchelchen finden sich hier nicht mehr im Labyrinth vor.

Betrachten wir jetzt die Höhlungen, welche zwischen dem Labyrinth und dem äußern Element liegen, und durch welche eine unmittelbare Gemeinschaft zwischen beiden bewerkstelligt wird.

---

*) Anlangend die Insecten, so ist bei diesen, ob schon der Sinn des Gehörs bei vielen derselben unwidersprechlich dargethan ist, doch ein bestimmtes Organ dafür bisher noch nicht nachzuweisen gewesen. Daß die Antennen hier zum Gehör wenig beitragen, scheint durch Versuche erwiesen; doch bietet die Membran, welche die Einlenkung der Antenne am Kopf vermittelt, vielleicht ein Analogon des Trommelfells dar. (Carus Lehrbuch der Zootomie).

**) Neue Entdeckungen über den Bau des Gehörorgans der Fische findet man namentlich in Weber's Werk: De aure et anditu hominis et animalium. Lips. 1820.

In den Fischen mit freien Kiemen findet keine solche Gemeinschaft Statt; der ganze Hörapparat ist von den Schädelknochen umhüllt und liegt mit dem Gehirn in einer Höhle.

In den Fischen mit befestigten Kiemen endigt sich, wie schon beschrieben, das Säckchen in einen Fortsatz, der durch eine, dem Trommelfell analoge, Haut geschlossen wird, über welche noch die äußere Haut gezogen ist. Sonst findet kein Mittelglied zwischen dem Gehörorgan und der Flüssigkeit, worin das Thier lebt, Statt.*)

Unter den Amphibien besitzen die Salamander ein Gehörorgan von einer, den Fischen der erstern Classe entsprechenden, Einrichtung. Bei den andern Amphibien hat das Labyrinth, wie beim Menschen, eine Oeffnung, an die sich ein Knochenplättchen legt, das dem Steigbügel analog ist. Auch findet sich eine zweite, blos durch eine Haut verschlossene, Oeffnung darin, die mithin dem runden Fenster analog ist.

Diese beiden Oeffnungen sind auch bei den Säugthieren und den Vögeln vorhanden.

Alle diese Thiere haben, wie der Mensch, eine Trommelhöhle, welche mit dem Munde durch einen Canal und mit Außen durch ein Trommelfell in Verbindung steht. Letzteres ist aber bald dünn, bald dick, bald muskulös, ja selbst knorplich.

Bei den Vögeln steht die Trommelhöhle inwendig mit drei großen Höhlen in Verbindung, welche durch elastische Knochenplatten gebildet werden, in die Schädelknochen dringen, und sehr geeignet zur Verstärkung des Tons scheinen.

Die Gestalt des Trommelfells ändert sich nach den Thierarten ab. Es ist bei dem Menschen und den meisten Säugethieren nach Außen concav, bei dem Pferde, dem Maulwurf, den Schildkröten und Fröschen flach, bei den Vögeln und Fröschen nach Außen conver. Eine andre Verschiedenheit des Trommelfells besteht in der mehr kreisförmigen oder mehr ovalen Gestalt desselben und darin, daß bei einigen Thieren die äußerste Hervorragung dieser Haut, mit welcher der Stiel des Hammers verbunden ist, ihrem Mittelpunct mehr oder weniger nahe ist. Verschieden ist endlich bei den verschiednen Thieren die Neigung der Ebene, worin sich der Umfang des Trommelfells befindet, gegen den Horizont; wobei Cuvier als ein Gesetz annimmt, daß ein Thier desto schärfer hört, je größer diese Neigung und je ausgedehnter die Fläche des Trommelfells ist.

---

*) Weber hat bei vielen Fischen, vorzüglich Bauchflossern, eine Verbindung des Gehörorgans mit der Schwimmblase, so wie drei Gehörknöchelchen gefunden, die mit den drei vordersten Wirbeln verbunden sind, von denen das, dem Hammer analoge, sich auch an die Schwimmblase anlegt.

Bei allen Thieren bietet das Labyrinth eine äußere Oeffnung dar. Diese ist durch eine knöcherne Platte verschlossen, welche auf der andern Seite entweder mit dem Trommelfell, wenn ein solches vorhanden ist, oder mit der Haut oder doch sehr nahe mit derselben in Verbindung steht. Diese Verbindung wird durch eine Knochenkette bewerkstelligt, welche bald aus einem einzigen Säulchen (columella), das mit einer ovalen Platte in das eirunde Fenster eingefügt ist, besteht, wie bei den Vögeln; bald aus einem oder mehrern kleinen Knochen von mannichfach abgeänderter Gestalt zusammengesetzt wird, wie bei dem Menschen und den Säugthieren. Bei dem Menschen werden diese Knöchelchen durch eigenthümliche Muskeln in Bewegung gesetzt; bei den andern Säugthieren aber, Magendie's Entdeckung zufolge, nur durch elastische Bänder von fast kugelförmiger Gestalt in ihrer Lage erhalten*), deren Spannung sich gleich zu bleiben scheint: jedes dieser Bänder hat seine Wurzel in einer kleinen, in den Schädelknochen befindlichen Höhle.

Noch bleibt uns ein Wort über den äußern Gehörgang zu sagen übrig. Die Amphibien besitzen keinen solchen; kurz ist er bei den Vögeln, mehr oder weniger entwickelt bei allen Säugthieren vorhanden. Die Thiere, bei denen er sehr groß ist, sind furchtsam oder Nachtthiere; weshalb ihnen ein gutes Gehör nothwendig ist. Den Beleg hiezu geben die Gazellen, Hirsche, Esel, Hasen und vornämlich die Fledermäuse. Im Allgemeinen hat das Thier, welches flieht, seine Ohren nach hinten gekehrt; das, welches verfolgt, nach vorn; woraus sich schließen läßt, daß diese Richtung zur Verstärkung der Töne dient, welche vom gefürchteten Feinde oder der verfolgten Beute herkommen.

Obwohl diese Erörterungen über die Organisation nicht unmittelbar dem Gebiete der Physik anzugehören scheinen, so habe ich doch kein Bedenken getragen, sie hier aufzunehmen, weil sie uns in der Kenntniß der verschiedenartigen Mechanismen, durch welche die Natur den Zweck des Hörens mit verschiednen Graden der Vollkommenheit zu erreichen sucht, gleichsam eben so viele lebendige Experimente darbieten, um uns über die Wirkungen, die jede solche besondre Abänderung im organischen Bau hat, zu belehren und die vergleichende Betrachtung dieser Wirkungen, welche es uns unmöglich fallen würde, durch künstliche Verfahrungsweisen so vollkommen und in solcher Man-

---

*) Nach Rudolphi (Grundr. der Physiologie. Bd. II. S. 125) ist diese Ansicht Magendie's blos durch eine sehr oberflächliche Präparation entstanden. R. fand wirklich Muskelfleisch an den Muskeln der Gehörknöchelchen beim Kalbe und Kaninchen.

nichfaltigkeit ins Werk zu setzen, scheint ausnehmend geeignet, uns über die noch gänzlich im Dunkel liegenden Gesetze der Verstärkung und der Circulation der Töne aufzuklären.

Von der Stimme.

Ueber den Mechanismus der Stimmwerkzeuge ist man mehr im Klaren, als über den des Gehörorgans, obgleich auch hier im Einzelnen noch genug zu erklären übrig ist. Er zeigt sich dem der Instrumente mit freiem Mundstück, wenn auch nicht gleich, doch sehr analog.

Im Menschen wird die, zuerst in die Lungen eingeathmete, Luft durch die Zusammenziehung der Brustwände, (und die eigenthümliche Zusammenziehung der Lungen selbst), die durch den sehr kräftig wirkenden Apparat der Muskeln des Ausathmens vollbracht wird, wieder ausgestoßen, und zwar zunächst in die Luftröhre (trachea), einen cylindrischen Canal, der aus knorplichen Ringen besteht, die mit biegsamen häutigen Ringen abwechseln, wodurch eine Verkürzung und Verlängerung desselben, obwohl nur innerhalb sehr enger Gränzen, möglich wird. Am Ende dieses Canals befindet sich eine Art knorplicher Behälter, der Kehlkopf (larynx), in dem von vorn nach hinten zwei häutige Bänder von rechteckiger Gestalt verlaufen. Drei ihrer Ränder sind an den Wänden des Kehlkopfs selbst befestigt; ihre Ebenen liegen einander fast parallel und lassen nur einen sehr geringen Zwischenraum, eine Art Spalte, die Stimmritze (glottis) genannt, zwischen sich, durch welche die, aus den Lungen ausgestoßene, Luft hindurch zu streichen genöthigt ist, bevor sie aus dem Munde treten kann. Der Bau dieser beiden Bänder ist sehr zusammengesetzt; was indeß unsre Aufmerksamkeit wesentlich auf sich ziehen muß, ist, daß sie sehr schnell mit ihrem freien Rande schwingen können und wirklich schwingen, wenn ein Thier einen anhaltenden Ton von sich giebt, wie sich Magendie durch Versuche an lebenden Hunden überzeugt hat. Der Apparat hat also Aehnlichkeit mit einem Mundstück, dessen schwingende Streifen aber contractil und elastisch wären. Ueber dem Kehlkopf befindet sich eine platte, elastische, ziemlich zungenförmige, Haut, die blos an ihrer Basis befestigt ist, und gegen die Stimmritze verschiedene Neigungen annehmen kann, indem sie sich erhebt oder auf den Eingang des Kehlkopfs herabsenkt, und dadurch die Geschwindigkeit des austretenden Luftstroms modificirt. Dieser Theil hat den Namen Kehldeckel erhalten, den man blos auf seine Lage beziehen muß; von seinem Nutzen werden wir bald sprechen. Für jetzt begnüge ich mich zu sagen, daß er, nach Magendie, bei ausgehal-

tenen Tönen eben sowohl in Schwingung geräth, als die Bänder der Stimmritze. Wenn die Luft durch letztre getreten ist, findet sie sich durch keine Hindernisse mehr aufgehalten; sondern verbreitet sich in dem Schlund, dem Mund und tritt endlich heraus.

Aus dieser, nur das Hauptsächlichste berührenden, Beschreibung ergiebt sich mit Deutlichkeit, daß das Stimmwerkzeug sich nur einem Blasinstrument mit freiem Mundstück vergleichen läßt, für welches die Brust als Blasebalg dient, die Luftröhre als Stiefel, der Kehlkopf mit der Stimmritze als Mundstück, und der Mund als Pfeife zum Ausströmen der Luft. Alle erfahrungsmäßigen Untersuchungen, die sich anstellen lassen, sprechen für diese Analogie.

Und in der That ist es auch unmöglich, wie mehrere thun, im Stimmwerkzeug ein Saiteninstrument zu sehen. Was ist im Kehlkopf vorhanden, das einer schwingenden Saite ähnlich wäre? Wo fände sich hinreichender Platz, um einer solchen Saite die für die tiefern Töne erforderliche Länge zu geben? Wie könnte man jemals Töne von einem Umfange, wie er bei Menschen Statt findet, daraus hervorlocken? Die einfachsten Grundsätze der Akustik widerlegen hinreichend diese seltsame Meinung.*)

Das Stimmwerkzeug ist sonach ein Blasinstrument, der Art jedoch, daß es sehr tiefe Töne bei einer sehr unbeträchtlichen Länge der Röhre hervorbringen kann, und daß die nämliche Röhre, fast ohne Veränderung in ihrer Länge, hinreicht, nicht allein gewisse harmonische Reihenfolgen von Tönen, sondern überhaupt alle denkbaren Töne

---

*) Diese Meinung scheint doch nur in so fern seltsam ganannt werden zu können, als man die Bildung der Stimme blos einseitig von der verschiednen Spannung der Stimmritzenbänder ableiten will; Rudolphi in seiner Phys., führt an: „Kempelen hat in seiner klassischen Schrift (Mechanismus der menschl. Sprache, nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine. Wien 1791. S. 80) zuerst eine richtige Idee von dem Stimmwerkzeuge gegeben; denn, wenn Dodart vorzüglich auf die Oeffnung des Kehlkopfs, als die eines Blasinstruments, Ferrein aber auf die Spannung der Stimmritzenbänder, als auf die von gespannten Saiten Rücksicht nahm, so zeigte Kempelen, daß ihre beiden Meinungen vereinigt werden müßten; denn es kann die Stimmritze nicht verengt oder erweitet werden, ohne daß zugleich ihre Bänder an- oder abgespannt werden, und wiederum können sich die Bänder nicht mehr oder weniger spannen, ohne daß die Stimmritze zugleich weiter oder enger wird. Kempelen S. 393. 397. vergleicht daher auch die Stimmritze mit einem Schnarrpfeifchen oder Rohrpfeifchen." (In der That scheint es auch im Wesen der vollkommenen Organisation des Menschen nicht unbegründet zu seyn, hier eine Vereinigung zweier Tonwerkzeuge zu finden).

„Die Stimmritze darf nach Kempelen nicht über ein Zwölftel, höchstens ein Zehntel Zoll offen stehen, wenn eine Stimme erfolgen soll; wird sie weiter, so geht die Luft, wie bei unserm gewöhnlichen Athemhohlen hindurch, ohne eine Stimme zu bewirken."

mit allen ihren Nuancen in dem Umfang der Tonscala, den jede Stimme zu umfassen vermag, hervorzubringen. Diese Erscheinungen lassen sich durch bloßes Spiel von Labialpfeifen auf keine Weise erhalten. Zwar kann man den Ton derselben bedeutend erniedrigen, indem man die Art der Windzuführung und die Gestalt der Oeffnung, durch welche die Luft hineintritt, zweckmäßig modificirt; allein ein windgebender Apparat von gleichbleibender Gestalt, bei dem sich nur die Kraft des Einblasens verändert, wie ihn die Lunge des Menschen darstellt, scheint nicht fähig zu seyn, durch solche Pfeifen die unendliche Mannichfaltigkeit von Tönen und Nuancen hervorzubringen, die wir in der menschlichen Stimme vernehmen. Alle diese Erscheinungen eignen sich dagegen vollkommen für Rohrwerke; denn hier ist die Länge des Stiefels, so wie die Länge der, über dem Mundstück befindlichen, Pfeife beständig, und der Luftstrom vermag durch bloße Verlängerung oder Verkürzung der Zunge so modificirt zu werden, daß man alle Töne und alle möglichen Nuancen der Töne, welche zwischen den äußersten Gränzen, die das Mundstück gestattet, enthalten sind, dadurch hervorbringen kann. Auch fand Magendie, als er an Hunden, während sie einen anhaltenden Ton von sich gaben, die Stimmritze beobachtete, daß bei den tiefsten Tönen die Stimmritzenbänder in ihrer ganzen Länge schwangen; in dem Maße aber, als der Ton höher ward, sich in einer immer größern Strecke an einander legten und an einander andrückten, so daß die Länge des schwingenden Theils immer mehr abnahm; und bei der äußersten Gränze der hohen Töne die Stimmritze sich nur noch als eine ganz enge und kurze Spalte zeigte, durch welche alle, aus der Brust ausgeathmete, Luft zu treten genöthigt war. Dies Spiel zeigt sich dem unsrer Mundstücke ganz analog, indem auch hier die Zunge in dem Maaße verkürzt werden muß, als man den Ton erhöhen will. In diesen ändert sich aber, selbst wenn sie vollkommen frei sind, der Ton etwas, wenn die Stärke des Windes sehr große Veränderungen ihrer Intensität erfährt; und Grenié hat gefunden, daß sich diesem Uebelstande abhelfen läßt, wenn man über den Mundstücken in der Pfeife kleine Papierstreifen blos an ihrer Basis befestigt, die sich bei Beschleunigung des Luftstroms erheben, bei Verzögerung desselben niedersenken, und durch diese verschiednen Lagen die Wellenbewegungen so abzuändern vermögen, daß die Höhe des Tons sich gleich bleibt und nur die Stärke desselben verschieden ausfällt. Man kann der Vermuthung Raum geben, daß der Kehldeckel, der dieselbe Lage und eine ziemlich ähnliche Gestalt hat, unter andern auch die Bestimmung hat, eine ähnliche Wirkung hervorzubringen, und uns so in den Stand setzt, die Töne nach Belieben zu verstärken, ohne ihre Höhe zu verändern.

Bei Untersuchung des Tons der Mundstücke bemerkten wir, daß die darüber befindliche Pfeife, ohne nothwendigerweise die Töne zu bestimmen, doch auf ihren Klang und die größere oder geringere Leichtigkeit, sie hervorzubringen, von Einfluß ist. Diese Wirkung wird demnach im Menschen dem Munde und dem Schlunde zukommen. Ein Loch, in diesen Theil des Stimmganges gebohrt, wird daher das Entstehen der Stimme nicht hindern, sondern blos ihren Klang abändern; wie man dies in der That bei Individuen beobachtet, bei denen von Natur oder künstlich eine Oeffnung oberhalb des Kehlkopfs gebildet wurde. Ja ohne alle Operation kann man hierfür einen auffallenden Beleg haben. Im Grunde der Mundhöhle nämlich ist der Eingang zu dem hintern Theil der Nasenhöhlen, die nach vorn unmittelbar mit der Luft Gemeinschaft haben, und so ein solches Loch darstellen. Dieses nun kann willkührlich durch eine häutige Klappe, das Gaumensegel (velum palatinum) genannt, geöffnet und geschlossen werden. Bei der gewöhnlichen Erzeugung der Stimme legt sich diese Klappe an die hintere Oeffnung der Nasenhöhlen an, und verschließt sie, so daß die Luft nur zum Munde heraustreten kann. Mittelst einer leichten Anstrengung, die Luft in die Nasenhöhlen zu treiben, verhindert man aber das Anlegen des Gaumensegels an ihren Eingang, dieser bleibt offen, und die Luft tritt zu Mund und Nase zugleich heraus. Dies ist, was man nennt, durch die Nase sprechen. Wie bekannt nun, erhält hierbei die Stimme einen eigenthümlichen, vom gewöhnlichen ganz verschiednen, Klang.

Macht man dagegen in den Stiefel eines Mundstücks ein Loch, so wird der Wind dadurch heraustreten, und, ist es weit genug, das Mundstück nicht mehr ansprechen. Ganz das Entsprechende geschieht bei Personen, bei denen sich unter dem Kehlkopf eine Fistelöffnung gebildet hat. Sie können nur sprechen, wenn dies Loch verstopft wird. Magendie hatte Gelegenheit, ein solches Subject zu beobachten, welches beständig um den Hals eine festangezogene Binde tragen mußte, um sprechen zu können.

Die Verlängerung und Verkürzung, deren die Luftröhre, obwohl in sehr beschränktem Grade, fähig ist, kann auch zur Abänderung der Töne dienen, vornämlich in den äußersten Fällen, wo der Einfluß des Kehldeckels nicht mehr ausreichen würde; denn nach Grenié hat die Länge des Stiefels bei den Mundstücken einen ähnlichen Einfluß. Jedoch dürfen wir nicht außer Acht lassen, daß dieser Einfluß, so wie der, den der Kehldeckel als Compensationswerkzeug betrachtet, äußert, keine wesentlichen Erfordernisse zur Erzeugung der Stimme selbst sind; so daß wahrscheinlich der Kehldeckel zerstört seyn könnte, ohne daß dadurch die Bildung der Töne aufgehoben würde. Allein

ihre Gegenwart oder ihr Mangel muß beim Gesange bemerklich werden, wo die nämlichen Töne oft mit ungleicher Stärke, und manchmal derselbe Ton mit veränderlicher Stärke, hervorgebracht werden müssen.

Der ganze Umfang der verschiednen Menschenstimmen von den tiefsten bis zu den höchsten umfaßt ungefähr drei Octaven. Die Stimmen vom größten Umfang enthalten nicht leicht über zwei Octaven an recht vollen und richtigen Tönen.*) Die tiefsten Männerstimmen reichen gewöhnlich von G bis $\overline{\text{f}}$, wenn man unter C das des Violoncells versteht oder den tiefsten Ton einer gedeckten vierfüßigen Orgelpfeife. Die höchsten Weiberstimmen reichen gewöhnlich von $\overline{\text{d}}$ bis $\overline{\overline{\text{h}}}$. Im Allgemeinen sind die Stimmen der Kinder und Weiber höher als die der erwachsenen Männer, weil ihre Stimmritzenbänder verhältnißmäßig viel kürzer sind. Sie vergrößern sich beim Manne gegen das funfzehnte oder sechzehnte Jahr, und erhalten binnen kurzer Zeit fast das Doppelte ihrer vorigen Länge; wodurch die Veränderung, die in dieser Lebensepoche in der Stimme eintritt, und sie tiefer macht, bedingt wird. Was die absolute Stärke der Stimme anbelangt, so hängt sie bei jedem Individuum von der Dicke der Stimmritzenbänder und der Kraft, mit der die Lungen die Luft ausstoßen, ab.

Diese Anwendung der Theorie der Rohrwerke auf die Bildung der Menschenstimme ist so einleuchtend, daß sich kaum begreifen ließe, wie man eine andre Ansicht davon hatte fassen können, wenn es nicht der Umstand erklärlich machte, daß die Gesetze der Akustik, namentlich was die Erscheinungen an den Rohrwerken betrifft, von den Anatomen, die eine Erklärung der Stimmwerkzeuge zu geben suchten, nicht hinlänglich gekannt waren. Jedoch muß billig erwähnt werden, daß einige unter ihnen sich allerdings eine richtige Vorstellung von der Sache machten. Denn außer den beiden, schon erwähnten, geschickten Anatomen, hatte Senac, im J. 1735, in seiner Anatomie die richtigsten Ansichten hierüber aufgestellt, und Ferrein im J. 1741, in die Bände der Akademie der Wissenschaften eine Abhandlung voll Scharfsinn und Erfahrung einrücken lassen, welche die vielfältigsten und entscheidendsten Beweise der oben auseinandergesetzten Theorie enthält. Ferrein und Senac erklärten die Stimmbänder für das eigentliche Stimmwerkzeug, und verglichen ihre Wirkung mit der der Zunge der Mundstücke. Ferrein brachte noch überdies diese Bänder in Cadavern durch künstliches Einblasen zum Schwingen, und erregte

---

*) Die Zelter umfaßte drei Octaven, die Catalani drei und eine halbe. (Rud. Phys.)

dadurch Töne von verschiedner Tonhöhe je nach der Länge, in der er die Theile schwingen ließ, und dem Grade der Spannung, den er ihnen gab. Den nämlichen Erfolg erhielt er mit dem Kehlkopf eines Schweins, dessen Luftröhre er an den Stiefel eines Orgelblasebalges fügte, und dann Luft hinein trieb. Ich habe diesen Versuch bei mehrmaliger Wiederholung vollkommen bestätigt gefunden. Preßt man die Luftröhre mit der Hand in der Höhe der Stimmritze zusammen, während die Luft hindurchstreicht, so kann man den Ton so modificiren, daß das Grunzen eines lebendigen Schweins vollkommen dadurch nachgeahmt wird. Auch sieht man bei diesem Versuch den Kehldeckel schwingen. Zur Vervollständigung dieser Versuche endlich ließ ich noch an den Stiefel eines Mundstücks zwei Bänder von elastischem Gummi, parallel neben einander, wie die der Stimmritze, befestigen, fügte diese Vorrichtung an den Blasebalg einer Orgel, und brachte dadurch Töne hervor.

Nach diesen Erörterungen werden sich die wesentlichen Modificationen, die das Stimmwerkzeug bei den verschiednen Thiergattungen darbietet, sehr leicht begreifen lassen. Ich entlehne folgende Angaben aus Cuviers Vorlesungen über die vergleichende Anatomie.

Blos die, mit Lungen versehenen, Thiere, d. h. die Säugethiere, die Vögel und die Amphibien besitzen eine wahre Stimme. Die Beschaffenheit des Stimmwerkzeugs ist bei allen im Wesentlichen die nämliche. Es ist ein Instrument mit freiem Mundstück, welches durch die, aus der Lunge ausgeathmete, Luft zum Tönen gebracht wird. Allein in der Anordnung dieses Mechanismus finden große Verschiedenheiten Statt.

Die Säugethiere und Amphibien haben, wie der Mensch, nur einen einzigen Kehlkopf, welcher die Luftröhre an ihrem Mundende begränzt. Ihre Stimme wird also ganz auf die nämliche Weise hervorgebracht. Aber der Mensch allein wird durch die Biegsamkeit seiner Lippen, die Beweglichkeit seiner Zunge und die übrigen Modificationen seiner Mundhöhle in den Stand gesetzt, seine Sprache auf mannichfache Weise zu articuliren, wozu die Thiere vermöge einer unvollkommenern Organisation unfähig sind; auch thut jeder Bildungsfehler, der einen dieser Vortheile aufhebt, der Bildung der Sprache Eintrag, oder macht sie selbst ganz unmöglich.

Die Classe der Vögel, welche so gesangreiche Individuen enthält, bietet in dem Bau des Stimmwerkzeuges verschiedene Eigenthümlichkeiten dar, deren Einfluß auf die Mannichfaltigkeit der Töne leicht in die Augen fallen wird. Die bemerkenswertheste ist die, daß die Stimmritze und die Stimmbänder fast gleich bei der Ausmündung der Lungen, am Anfange der Luftröhre, liegen. Obwohl übrigens diese

letztre verhältnißmäßig viel länger und ausdehnsamer, als bei den Säugethieren ist, so reicht ihre Länge doch bei Weitem noch nicht hin, um die tiefen Töne, und insbesondre die unendlich verschiednen Tonnuancen, welche zu einem Gesange gehören, nach Art einer Labialpfeife hervorzubringen. Hieraus sieht man schon zur Genüge, daß bei dieser Thierclasse das Stimmorgan, wie bei den Säugethieren, nichts anders als eine Art Mundstück ist; und der Beweis, daß dieses am untern Ende der Luftröhre liegt,*) ergiebt sich daraus, daß, wenn man einem Vogel, der ein starker Schreier ist, den Hals selbst sehr tief unter dem Kopfe abschneidet, derselbe noch wie zuvor (nur schwächer) schreit, weil er noch das Instrument besitzt, welches bei ihm den Ton hervorbringt, wenigstens dem Theile nach, der zur Bildung der Stimme am wesentlichsten ist.

Ich habe schon erwähnt, daß die Luftröhre der Vögel contractiler als die der Säugthiere ist. Sie zeigt außerdem noch eine andre Eigenheit; nämlich ihr oberes Ende kann sich erweitern oder verengern, so daß dem Luftstrom ein mehr oder minder freier Austritt verstattet wird. In den Veränderungen der Länge und Weite derselben stehn demnach dem Vogel zwei Mittel zu Gebote; die Höhe und Stärke seiner Stimme abzuändern, so wie auch die Gestalt der Pfeifen, welche über die gewöhnlichen Mundstücke gesetzt werden, einen rückwirkenden Einfluß auf ihren Ton, für eine gegebene Länge der schwingenden Streifen, hat. Wahrscheinlich jedoch dient dieß Hülfsmittel nur, die feinsten Nuancen des Tons hervor zu bringen; da, wie wir bei Betrachtung der Mundstücke gesehen, die bloße Veränderung in der Länge der schwingenden Streifen immer die erste und hauptsächlichste Ursach der Veränderung in der Tonhöhe ist.

Wir haben ferner gesehen, daß die Gestalt der, an die gewöhnlichen Mundstücke gefügten, Pfeifen die Beschaffenheit des Tons, den sie geben, modificirt, und ihn dem Ton verschiedner Instrumente mehr oder weniger ähnlich macht. Analoge Abänderungen werden bei den Vögeln durch eine ähnliche Ursach, d. h. durch die abgeänderte Gestalt der Luftröhre hervorgebracht. Die Vögel mit kegelförmiger, nach Oben ausgeweiteter, Luftröhre haben eine helltönende Stimme, wie die Trompetenstimmen der Orgeln. Bei andern finden sich an gewissen Stellen der Luftröhre Anschwellungen, die eine Abänderung in den Ton bringen; wovon das Entsprechende in den Rohrflöten der Orgeln Statt findet. Die Singvögel aber besitzen eine cylindrische Luftröhre, die ganz aus fadenfeinen Ringen zusammengesetzt ist. Be-

---

*) Man könnte nämlich auch einen zweiten Kehlkopf, den die Vögel noch außerdem am obern Ende der Luftröhre besitzen, dafür halten.

greiflich muß die Beschaffenheit des Tons durch die größere oder geringere Zartheit im Bau der Luftröhre und die mehr oder minder bedeutende Elasticität des Stoffes, aus dem sie besteht, Abänderungen erleiden können. Eben diesen Erfolg muß auch die Einrichtung des Kehlkopfs haben, der mehr oder minder schreiend seyn kann, wie wir dies bei unsern gewöhnlichen Mundstücken finden. Ins Einzelne dieses Gegenstandes einzugehn, würde uns, bei der großen Mannichfaltigkeit, die er darbietet, zu weit von unserm Zweck abführen; es genügt, den wahren Gesichtspunct festgestellt zu haben, aus dem er betrachtet werden muß.

Viertes Buch.

Von der Elektricität.

Erstes Capitel.

Allgemeine Erscheinungen der elektrischen Anziehung und Abstoßung; Unterscheidung zweier Arten von Elektricität.

Alle Eigenschaften, die sich uns bisher an den Körpern darboten, waren ihnen standhaft inhärirend und schienen vom Wesen der Materie, aus welcher sie bestanden, ganz untrennbar zu seyn. So kann man den schweren Körpern die Schwere so wenig rauben, als ihren Moleculen die Eigenschaft, sich wechselseitig anzuziehen.

Jetzt werden wir unsre Untersuchungen auf andre Arten von Modificationen wenden, welche den Körpern vorübergehend ertheilt werden können, und die um so merkwürdiger sind, da sie, ohne den Körpertheilchen etwas Fühlbares oder Wägbares zuzusetzen oder zu entziehen, dessen ungeachtet gewaltige Kräfte in ihnen aufregen, deren mechanische Wirkung dann materielle Körper in Bewegung zu setzen vermag.

Nimmt man z. B. eine Stange Siegellack oder eine Glasröhre oder ein Stück Bernstein, welche man seit längerer Zeit unberührt gelassen hat, und bringt sie in die Nähe von kleinen Papier- oder Strohschnitzeln oder andern kleinen leichten Körpern, so werden diese keine Einwirkung davon erfahren; reibt man aber vor Anstellung dieses Versuchs die Glasröhre, die Siegellackstange oder den Bernstein leicht und rasch mit einem Stück Wollenzeug oder einem recht trocknen Katzenfelle, und nähert sie nun den ebenerwähnten leichten Körpern, so sieht man diese sich nach ihnen hin bewegen. Hierin also hat sich uns eine neue Eigenschaft, ein neues Vermögen entdeckt, welches die Reibung in Körpern, in denen vorher nichts davon vorhanden war, hervortreten läßt. Man nannte diese Eigenschaft Elektricität, vom griechischen Wort ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, weil man in der That in diesem harzartigen Körper dieselbe zuerst entdeckte.

Jahrhunderte lang war man bei dieser ersten Beobachtung stehen geblieben; seit siebzig Jahren aber ungefähr hat ein tieferes Studium dieser Erscheinungen eine Menge wichtiger Thatsachen ans Licht gebracht, die in ihrer Vereinigung jetzt einen der schönsten Zweige der Physik bilden.

Der erste Schritt, den man zu thun hat, ist, der eben beschriebenen Grunderscheinung weiter nachzugehen, und sie nach allen ihren Umständen genau zu bestimmen. Um sie stärker hervortreten zu lassen, muß man Glasröhren, Siegellack- oder Schwefelstangen von etwas größerm Umfange, z. B. von zwei Centimetern im Durchmesser und drei oder vier Centimetern in der Länge, der Reibung unterwerfen. Dann äußert sich die Anziehung auf die leichten-Körper weit lebhafter; man sieht sie mit Schnelligkeit sich nach der elektrischen Röhre hinbewegen. Einige bleiben daran hängen, andere werden, nachdem sie dieselbe berührt haben, schnell wieder davon zurückgestoßen. Nahe an die Hand oder an das Gesicht gebracht, erregt die Röhre das Gefühl, als ob man diese Theile in Spinnweben tauchte; und bei Berührung derselben mit der Hand oder einer Metallkugel hört man einen knisternden Funken, der auf den darangehaltenen Körper überspringt. Dieser Funken wird sichtbar, wenn man den Versuch im Dunkeln anstellt; auch sieht man dann stets ein bläuliches Licht den reibenden Körper beim Hinführen über die Röhre begleiten. In noch stärkerm Maße erhält man diese Wirkungen, wenn man sich statt der Röhre einer dicken Glas- oder Harzkugel oder eines Cylinders oder einer Scheibe von Glas bedient, die man zwischen festgemachte Kissen preßt und mittelst einer Kurbel im Kreise herum bewegt. Ein solcher Apparat wird eine Elektrisirmaschine genannt. Gewöhnlich fügt man noch mehrere andre Theile hinzu, wodurch die Sicherheit und Stärke ihrer Wirkungen erhöht wird. Von diesen werden wir weiterhin sprechen, wenn wir erst die theoretischen Einsichten erlangt haben werden, auf welche sich die Einrichtung derselben gründet. Für jetzt reicht ein Apparat, wie er eben von uns beschrieben worden ist, schon hin, die angeführten Grunderscheinungen vollkommen zum Augenschein zu bringen.

Wir schweben in völligem Dunkel darüber, welches die Beschaffenheit der Grundursache sey, von der alle jene Erscheinungen abhängen, auf welche Weise sie in den Körpern vorhanden seyn, und wie ihre Wirksamkeit durch Reibung hervorgelockt werden könne. Indeß hindert uns diese Ungewißheit nicht, jene Grundursache der Kürze halber ein für allemal mit dem Namen Elektricität zu bezeichnen; eben wie wir auch die unbekannte Grundursache der Wärme Caloricum nannten.

Alle glasartigen und harzartigen Körper bringen jene Erscheinungen in stärkerm oder schwächerm Grade hervor. Auch seidene Stoffe eignen sich dazu; allein vergebens sucht man sie an Metallen zum Vorschein zu bringen. Faßt man eine Metallröhre mit einer Hand, reibt sie mit der andern mit einem Katzenfelle oder einem Stück Wollenzeug, so wird sich keine Spur einer Lichterschelnung zeigen, unser Körper wird keine Empfindung dadurch erhalten, es werden keine leichten Körper davon angezogen werden.

Faßt man aber die Metallröhre nicht unmittelbar mit der Hand, sondern an einem recht trocknen Handgriff aus Harz oder Glas, den man daran befestigt hat, und reibt sie nun wie zuvor, ohne sie anderweitig als mit dem Reibzeug zu berühren, so wird sie sämmtliche elektrische Eigenschaften annehmen. Das Nämliche wird geschehen, wenn man sie an seidnen Schnuren aufhängt und nun mit einem Katzenfell schlägt, oder wenn man die Hand, die sie faßt, mit mehrfach zusammengelegtem Seidenzeuge umwickelt. Diese Eigenschaften werden aber nur so lange bleiben, als die Metallröhre ganz außer aller Gemeinschaft mit andern Körpern bleibt; dagegen auf der Stelle verschwinden, so wie man die Röhre mit dem Finger oder mit einem andern Stück Metall berührt.

Diese Versuche geben deutlich zu erkennen, daß, wenn das Metall Anfangs keine elektrischen Eigenschaften zeigte, der Grund davon nicht in einer Unempfänglichkeit desselben dafür lag, sondern nur in einer Unfähigkeit, sie festzuhalten. Denn, wenn sie schon im Metall hervorgetreten waren, vermochte man sie ihm durch Berührung mit dem Finger oder einem andern Stück Metall zu entziehen; und so mußte sich denn auch, wenn man es mit der Hand beim Reiben hielt, die Elektricität in dem Maße, als sie darin erregt ward, sogleich wieder daraus verlieren; kein Wunder also, wenn sie sich durch keine Wirkung darin zu erkennen gab. Dagegen ward sie bemerklich, wenn man das Metall durch Glas, Seide oder Harz in der Luft schwebend erhielt; ein Beweis, daß diese Substanzen sich dem Ausströmen der Elektricität widersetzen; und wirklich verbreitet sich auch die El. nicht schnell von einem Ende eines seidnen Bandes, einer Glasröhre oder einer Harzstange zum andern, denn berührt man diese Körper, nachdem sie durch Reiben elektrisirt worden sind, an einem Theile ihrer Oberfläche, so entzieht man zwar diesem Theile seine elektrischen Eigenschaften, allein sie bestehen noch an allen übrigen fort. Dies ist der Grund, warum sich diese Körper elektrisiren lassen, wenn man sie an einem ihrer Enden mit der Hand hält.

Dies leitet uns zu einer Eintheilung der Naturkörper in zwei große Klassen, je nachdem sie die Elektricität frei durch sich hindurch-

lassen oder nicht. Wir werden sie hiernach Leiter (Conductoren, conducteurs) und Nichtleiter (non-conducteurs) nennen. Letztre nennt man auch Isolatoren, weil sie, als Träger gebraucht, dienen, den andern jede Gemeinschaft mit Leitern, die ihnen Electricität zu entziehen vermöchten, abzuschneiden, d. i. sie zu isoliren.[1])

Die atmosphärische Luft gehört offenbar zur Klasse der Nichtleiter; denn, wenn sie der Elektricität einen freien Durchgang verstattete, so könnte kein, in ihr eingetauchter, Körper dauernde elektrische Erscheinungen hervorbringen. Eine geriebene Glas- oder Harzstange behält aber ihre elektrischen Eigenschaften, selbst eine geraume Zeit hindurch, wenn gleich von Luft umgeben.

Das Wasser dagegen ist ein Leiter; denn macht man mit demselben, oder auch nur mit seinem Dunste, eine, durch Reiben elektrisirte, Glas- oder Harz-Röhre naß, so verliert sie augenblicklich alle ihre Kraft. Auch thut der, in der Luft schwebende, Wasserdunst der isolirenden Eigenschaft derselben Eintrag; daher die elektrischen Versuche nie besser als bei kaltem und trocknem Wetter gelingen, wo sich sehr wenig Wasserdunst in der Luft befindet.

Diese verschiedene Fähigkeit der Körper, die Elektricität an sich zu halten oder fortzuleiten, ist von Grey entdeckt worden. Er verdankte die Beobachtung derselben einem Zufall, den er aber auf geschickte Weise zu nutzen wußte.

Man kennt bis jetzt noch keine beständige Beziehung zwischen dem Zustand der Körper und ihrer leitenden Eigenschaft. Unter den festen Körpern leiten die Metalle die El. vollkommen; die trocknen Gummiarten und Harze dagegen leiten sie nicht. Fast alle tropfbare Flüssigkeiten sind gute Leiter; das Oel jedoch ein sehr unvollkommener. Kaltes Wachs und Seife leiten die El. schlecht; geschmolzen, gut. Das Leitungsvermögen wird in den entgegengesetztesten Zuständen beobachtet; z. B. in der Alkoholflamme und dem Eise. Die Temperatur der Körper scheint ohne merkbaren Einfluß auf die elektrischen Funken, welche sie geben, zu seyn. Die, aus dem Eise hervortretenden, sind nicht kalt, und die, einem rothglühenden Eisen entlockten, scheinen sie an Hitze nicht zu übertreffen.*)

---

1) Ehemals nannte man die Nichtleiter idioelektrische, d. i. an sich elektrische; die Leiter anelektrische, d. i. unelektrische, Körper, weil man die erstern allein für fähig hielt, durch Reiben elektrisch zu werden; welches aber irrig ist. Alle Körper werden gerieben elektrisch; aber nicht allen kommt die Eigenschaft zu, die in ihnen entwickelte Elektricität festzuhalten; um sie dazu fähig zu machen, muß man sie isoliren.

*) Substanzen, die nur unvollkommen leiten, und zwischen Leitern und Nichtleitern gewisse-maßen mitten inne stehn, werden Halbleiter genannt.

Die trockene atmosphärische Luft und die übrigen Gasarten scheinen außer ihrer isolirenden Eigenschaft auch noch das Vermögen zu besitzen, die Elektricität an der Oberfläche der Körper durch den Druck, den sie auf dieselben ausüben, zurückzuhalten. Denn bringt man unter die Glocke der Luftpumpe einen elektrisirten, und durch Füße von Glas oder Siegellack isolirten, Leiter, so wird er bei einem gewissen Grade der Luftverdünnung alle seine Elektricität verlieren, indem dieselbe aus ihm mit einem bläulichen Lichte nach allen andern Leitern ausströmt, durch welche sie mit dem Erdboden Gemeinschaft erhalten kann. Bringt man unter den nämlichen Umständen einen, durch Reibung elektrisirten, Nichtleiter, z. B. eine Siegellackstange unter die Glocke, so entweicht die Elektricität auch aus ihm, wenn man die Luft auspumpt; allein die Trennung geschieht weit langsamer, und der Körper bedarf weit längerer Zeit, um derselben ganz entledigt zu werden. Diese Erscheinungen scheinen demnach dafür zu sprechen, daß die Elektricität nur durch den Luftdruck an der Oberfläche der Leiter zurückgehalten wird, an der Oberfläche der Nichtleiter aber, wie des trocknen Glases und Harzes, sowohl durch diesen Druck, als durch die Schwierigkeit, welche sie findet, sich von ihren Theilchen loszumachen.

Viele, sonst gut isolirende, Substanzen werden durch Feuchtigkeit zu Halbleitern, ja zu vollkommenen Leitern. Folgendes ist ein Verzeichniß der vorzüglichsten Leiter und Nichtleiter, wie es Singer angiebt. Die Substanzen sind darin beinahe in der Ordnung des Grades ihrer Vollkommenheit aufgestellt; doch ist diese noch nicht völlig ausgemittelt, was auch schwer seyn würde, da zu einer völligen Vergleichbarkeit eine Menge Umstände in Betracht gezogen werden müßten.

Leiter. Alle bekannte Metalle; gut ausgebrannte Kohle; Reißblei; concentrirte Säuren; Kohlenpulver; verdünnte Säuren und salzige Flüssigkeiten; Erze; thierische Flüssigkeiten; Seewasser, Quellwasser, Flußwasser, Eis und Schnee; lebende Vegetabilien; Flamme, Rauch, Dampf; die meisten Salze; verdünnte Luft, Alkohol und Aetherdunst; die meisten Erden und Steine.

Nichtleiter. (Gummilack), Siegellack, Bernstein; Harze; Schwefel, Wachs, Gagat; Glas alle Verglasungen, Talk; der Diamant und alle durchsichtigen Edelsteine; rohe, gebleichte, gefärbte Seide; Wolle, Haare, Federn; trockenes Papier, Pergament, Leder; Luft und alle trockne Gasarten; gedörrtes Holz, trockne vegetabilische Substanzen; Porzellan, trockner Marmor; einige kiesel- und thonerdige Steine; Kampher, elastisches Gummi; Bärlappsaamen; natürliche kohlensaure Schwererde; trockne Kreide, Kalk, Phosphor; Eis bei 13° F.; mehrere durchsichtige Krystalle, wenn sie vollkommen trocken sind; die Aschen von thierischen und vegetabilischen Substanzen; Oele, die schwersten scheinen die besten; trockene Metalloxyde.

Mehrere Körper des vorstehenden Verzeichnisses verlieren ihre nichtleitende Eigenschaft und werden Leiter, wenn man sie stark erhitzt. Dies ist der Fall mit rothglühendem Glase, geschmolzenem Harz, Wachs u. s. w. (Singers El. S. 24 u, ff.)

Die leitende Eigenschaft der Metalle wird zu einer vortheilhaftern Einrichtung der Elektrisirmaschine benutzt. Wan hängt einen Metallcylinder an seidnen Schnüren auf, oder befestigt ihn auf Glasfüßen, so, daß das eine Ende ganz nahe an der, durch Reibung elektrisirten Kugel oder Scheibe zu stehen kommt. So wie nun die Elektricität sich entwickelt, geht sie in diesen metallnen Leiter über, und erhält sich darin, weil er isolirt ist. Berührt man diesen ersten Conductor mit einem andern, auf die nämliche Weise isolirten, Metallcylinder, indem man ihn am isolirenden Fuße faßt, so wird er auch elektrisch, und man kann auf diese Weise die El. an beliebige Orte leiten. Es ist gleichgültig, an welcher Stelle man den ersten Conductor berührt; er wird allenthalben El. hergeben. Befestigt man einen Metalldraht von beliebiger Länge daran, wäre er selbst tausend Meter lang, so wird er im nämlichen Augenblicke in seiner ganzen Ausdehnung elektrisch werden, wofern er nur ebenfalls isolirt ist. Nicht minder wird die Fortleitung Statt haben, wenn man isolirte Wassermassen, z. B. die in Glasgefäßen enthalten sind, zu Theilen der Verbindungskette macht. Dies sind Folgerungen und Beweise des freien Durchgangs, den die Leiter der El. verstatten.

Zum Gelingen dieser Versuche ist erforderlich, daß die seidnen Schnuren, oder die Glasröhren, welche zur Isolirung der Leiter dienen, vollkommen trocken sind; widrigenfalls die elektrischen Eigenschaften bald schwächer werden, und in Kurzem ganz verschwinden. Recht feine und trockne seidne Fäden können als vortreffliche Isolatoren für leichte Körper gelten. Ein Kügelchen von Hollundermark, welches eine ausnehmend leichte und leitende Substanz ist, an einem solchen Faden aufgehangen, gewährt ohne Kosten eine der nützlichsten Vorrichtungen für das Studium der Theorie der Elektricität. Zu bequemerer Anstellung der Versuche hat man dies kleine Pendel an einem festen, oben gekrümmten, Stiel auf einen beweglichen Fuß zu befestigen, wie Fig. 1 zeigt.

Berührt man mit der Kugel eine, durch Reibung elektrisirte, Röhre, und entfernt sie dann davon, ohne sie anzurühren, so wird sie el. Eigenschaften angenommen haben: sie wird Strohschnitzel, Staub und andre kleine, ihr dargebotene, Körper anziehen. Bewegt man die Hand gegen sie; so wird man sehen, daß sie sich derselben nähert; mit einem Wort; sie wird durch Mittheilung (par communication) elektrisirt worden seyn.

Diese Eigenschaften wird sie eine ziemlich geraume Zeit behalten, zumal wenn die Luft trocken ist, wofern man sie nur nicht anrührt. Geschieht dies, so kehrt sie sogleich zu ihrem natürlichen Zustande zurück und verliert alle El., die sie erlangt hatte.

Hier, so wie bei dem elektrisirten Leiter, den man berührt, läßt sich fragen, wohin denn die El. entweicht, und warum sie sich durch keine Wirkung mehr zu erkennen giebt. Folgender Versuch wird hierüber Aufschluß geben.

Anstatt die elektrisirte und isolirte Kugel mit dem Finger zu berühren, berühre man sie mit einer andern, nicht elektrisirten, gleichfalls an einem isolirenden Seidenfaden aufgehangenen, Kugel, die aber ein achtzig- oder hundertfaches Volumen von dem der ersten hat. Man wird nach geschehener Berührung finden, daß diese erste ihre el. Kraft fast eben so vollständig verloren hat, als wenn sie mit dem Finger berührt worden wäre. Hieraus wird man abnehmen können, daß eine gegebene Menge El. an Intensität verliert, wenn sie sich über eine größere Oberfläche verbreitet; denn das Innere der Kugeln trägt hierzu nichts bei, indem die Erscheinung auf gleiche Weise erfolgt, die Kugeln mögen massiv oder hohl seyn. Begreiflich also verliert die kleine Kugel bei der Berührung ihre el. Kraft deshalb, weil sie dieselbe mit dem menschlichen Körper und der ungeheuern Erdmasse, beides Leitern, mit welchen sie dann in Verbindung steht, theilt. Man nennt deshalb in Bezug auf die el. Versuche auch oft die Erde den gemeinschaftlichen Behälter (réservoir commun) der El.

Untersuchen wir jetzt näher, was geschieht, wenn man die geriebene Röhre der kleinen Kugel zum Erstenmal nähert, um sie durch Mittheilung zu elektrisiren. Zuerst bewegt sie sich nach derselben hin und haftet an ihrer Oberfläche; allein nachdem die Berührung nur den ganz kurzen Zeitpunct hindurch gedauert hat, welcher hinreicht, die Mittheilung der El. der Röhre an das Kügelchen zu bewirken, so wird es von der Röhre abgestoßen und scheint sie zu fliehen, so lange es seine el. Eigenschaften behält. Nähert man freilich die Röhre dem Kügelchen sehr schnell, so sieht man es manchmal zurückkehren, und die Abstoßung somit in Anziehung übergehen; dieß ist jedoch eine zusammengesetzte Erscheinung, deren Ursache wir späterhin ausfindig machen werden; bleiben wir aber bei dem stehen, was geschieht, wenn man die Röhre dem Kügelchen nach geschehener Mittheilung der El. von fern darbietet, gleichsam als wollte man es erst auf ihre Bewegungen vorbereiten, so sieht man, daß es dasselbe immer erst flieht. Dies leitet uns zu der wichtigen Folgerung, daß mit Ausnahme einiger besondern Fälle, deren Ursach wir späterhin aufsuchen werden, die Körper, deren einer den andern durch Mittheilung elektrisirt hat, einander fliehen.

Dem ersten Anblick nach scheint uns allerdings der vorige Versuch zu diesem Schlusse noch keineswegs zu berechtigen. Denn man sieht zwar wohl, daß das Kügelchen die Röhre flieht, von der sie El.

durch Mittheilung empfangen hat; nicht aber daß die Röhre das Kügelchen flieht. Allein dies rührt blos daher, daß sie zu schwer ist. Das Kügelchen bewegt sich allein, da es nicht vermag, die Röhre in Bewegung zu setzen. Um aber Gleichheit der Umstände hervorzubringen, nehme man zwei gleiche Kügelchen; befestige sie an die beiden Enden eines leinenen Fadens, der die El. leitet, und hänge dann diesen Faden in seiner Mitte an einem Seidenfaden auf, wie Fig. 2 zeigt. Die beiden Kügelchen werden hier durch den Linnenfaden mit einander in leitender Verbindung stehen; ihr ganzes System aber durch den Seidenfaden isolirt in der Luft schweben. Berührt man nun beide Kugeln, oder auch blos eine derselben mit einer elektrischen Röhre, so wird man beobachten, daß sie nicht allein die Röhre fliehen, nachdem sie deren El. getheilt haben, sondern daß sie auch einander selbst fliehen; so daß die beiden Hälften des Linnenfadens auseinanderweichen, wie Fig. 3 darstellt.

Die Abstoßung der kleinen elektrisirten Kugel, Fig. 1, hat stets auf gleiche Weise Statt, aus welchem Stoff immer die Röhre bestand, durch welche man ihr die El. mittheilte, wofern man ihr nur auch stets nachher die nämliche Röhre wieder darbietet. Hat man ihr aber er: die El. einer, mit Wolle geriebenen, Glasröhre mitgetheilt, und nähert ihr nun eine, auf dieselbe Weise geriebene, Stange von Harz, Siegellack oder Schwefel, so wird sie keineswegs dieselben fliehen, vielmehr sich derselben nähern, und noch begieriger zu ihr hinbewegen, als wenn sie zuvor gar nicht elektrisirt worden wäre. Das Nämliche findet Statt, wenn man die kleine Kugel zuerst durch die Harzstange elektrisirt und ihr dann die Glasröhre nähert; im einen wie im andern Fall findet stets Anziehung Statt.

Wir sehen sonach, daß, wenn ein Körper zuvor elektrisirt und isolirt war, wie unser kleines Pendel, die andern elektrisirten Körper bei ihrer Annäherung an denselben nicht alle die nämliche Wirkung auf ihn äußern, indem ihn die einen anziehen, während ihn die andern abstoßen. Dies nöthigt uns, hinfort zwei Arten der El. zu unterscheiden, eine von der Art, wie sie in dem, mit Wollenzeuge geriebenen, Glase hervortritt, die wir Glaselektricität (gewöhnlicher und passender positive El.) nennen wollen; die andere von der Art, wie sie sich in dem, gleichfalls mit Wollenzeug geriebenen Harz entwickelt, und die wir daher Harzelektricität (negative El.) nennen. Die Entdeckung dieses wichtigen Unterschiedes verdanken wir Dufay.

Jetzt können wir alle, bisher von uns beobachteten, Erscheinungen der el. Anziehung und Abstoßung, durch folgenden ganz einfachen Satz aussprechen: Körper, die mit gleichartiger El. gela-

den sind, stoßen sich ab; die mit ungleichartigen geladen sind, ziehen sich an.

Obwohl dieser Satz nichts zu enthalten scheint, was nicht unmittelbar in den Erscheinungen selbst ausgesprochen läge, so darf man ihn doch noch keineswegs für schlechthin in sich begründet halten; denn Bewegungen, wie die, welche uns die elektrisirten Körper darbieten, können auch hervorgebracht werden, ohne daß eine wahre gegenseitige Anziehung oder Abstoßung der beiderseitigen materiellen Theilchen Statt fände. Dies an einem Beispiele zu verdeutlichen, wollen wir uns ein Gefäß AA′, Fig. 4, denken, erfüllt mit einer schweren Flüssigkeit, wie Wasser oder Quecksilber, und vertical an einem festen Punct S aufgehangen. Läßt man dies Gefäß unberührt, so wird es vermöge der Gesetze des Gleichgewichts ohne Bewegung bleiben, und die schwere, in ihm enthaltene, Flüssigkeit, wird es zu keiner Bewegung nach horizontaler Richtung veranlassen können, weil die Druckkräfte, welche von ihr gegen die Seitenwände in derselben Tiefe nach entgegengesetzten Richtungen BA B′A′ ausgeübt werden, gleich sind und einander deshalb aufheben. Gesetzt nun aber, man lasse mittelst eines Brennspiegels MM einen Lichtkegel auf den Punct A fallen, der durch Schmelzung des Metalls eine kleine Oeffnung an dieser Stelle in der Wand hervorbringe; so wird, weil nun der Druck nach der Richtung BA Null wird, und dem Druck B′A′, der noch der nämliche bleibt, demnach nicht mehr entgegenwirken kann, das Gefäß sich vom Spiegel entfernen, als würde es von ihm abgestoßen. Ließe man dagegen den Brennpunct des Lichtkegels auf den Punct A′ fallen, durch die, als durchsichtig angenommene, Materie des Gefäßes und der Flüssigkeit hindurch, so daß die Wand ebenfalls an dieser Stelle geschmolzen würde, so würde sich das Gefäß dem Spiegel nähern, als würde es von demselben angezogen. Dessen ungeachtet findet hier weder eine wahre Anziehung noch Abstoßung Statt; alles kommt auf die einfache Wirkung des hydrostatischen Drucks zurück, welcher der, im Gefäß AA′ enthaltenen, Flüssigkeit wesentlich eigenthümlich ist; und die ganze Erscheinung beruht völlig auf denselben Gründen, als die Drehungsbewegung, die wir im ersten Buche, S. 60, in Betracht zogen. Wir müssen demnach auch bei den elektrisirten Körpern nicht voreilig an eine, zwischen ihren materiellen Theilchen wirklich Statt findende, Anziehung und Abstoßung denken; und es wird sich in der That weiterhin ergeben, daß den Bewegungen dieser Körper ein, dem erwähnten ganz ähnlicher, Mechanismus zu Grunde liegt. Ihre materiellen Theilchen gewinnen, wenn gleich elektrisirt, doch keinen wahren Einfluß auf einander; alle Vorgänge finden zwischen der positiven und der negativen Elektricität, von denen sie be-

deckt werden, Statt, und die wechselseitige Wirkung dieser beschränkt sich nur darauf, den Druck zu verstärken oder zu mindern, den die El. von den Oberflächen der Körper gegen die umgebende, sie zurückhaltende, Luft, oder im Allgemeinen gegen die Hindernisse, die sich ihrem Entweichen entgegensetzen, ausübt. Wenn wir uns nun, nach diesen Betrachtungen, der Worte Anziehung und Abstoßung zur Bezeichnung der Bewegungen elektrisirter Körper noch ferner bedienen, so darf man in ihnen nur Ausdrücke sehen, welche zur bequemern Darstellung der Umstände dieser Bewegungen dienen, keineswegs aber eine Andeutung ihrer wahren Ursache.

Diese Anziehungen und Abstoßungen äußern sich nicht allein durch die Luft hindurch; sondern auch durch die andern Nichtleiter, z. B. durch Glas und Harz. Hängt man in der Mitte eines Glaskolbens eine, durch Reiben elektrisirte, Siegellackstange auf, so findet man, daß sie leichte, außerhalb des Kolbens befindliche, Körper anzieht, gerade so, als wenn kein Glas dazwischen befindlich wäre. Eben so findet die Anziehung Statt, wenn die leichten Körper im Kolben aufgehangen sind, während sich die elektrisirte Röhre außerhalb desselben befindet. Dieses Hindurchgehen der Wirkung erfolgt auch durch Leiter; wird aber hier durch eine andre Erscheinung versteckt, von der wir weiterhin sprechen werden.

Um zu erfahren, ob eine Substanz, wenn sie auf eine gewisse Art gerieben wird, die positive oder negative Elektricität annimmt; muß man zusehen, welche Wirkung sie auf das, mit einer bekannten El. schon geladene, elektrische Pendel äußert. Man berührt z. B. dies Pendel mit einer Glasröhre, welche man mit einem Stück Wollenzeug gerieben hat. Es nimmt die positive El. an. Jetzt reibt man auch die zu prüfende Substanz und nähert sie dann dem kleinen Pendel. Stößt sie es zurück, so besitzt sie positive El.; zieht sie es an, negative. Man kann, wenn man will, auch den Versuch auf die umgekehrte Weise anstellen, indem man dem kleinen Pendel zuerst negative El. mittheilt; dann verhalten sich auch die Wirkungen auf die umgekehrte Weise. Da die Zeichen der Elektricität in den verschiednen Substanzen manchmal nur in sehr schwachem Grade auftreten, so ist zu wissen nöthig, wie man die Empfindlichkeit der Vorrichtung erhöhen kann. Man gelangt dazu dadurch, daß man den Durchmesser des Hollunderkügelchens vermindert und es an einem feinen Seidenfaden aufhängt. Bedient man sich z. B. eines Fadens, wie er aus dem Cocon kommt, und giebt man ihm drei bis vier Decimeter Länge, so wird selbst eine sehr schwache El. hinreichen, ihn in Bewegung zu setzen. Später werden wir erfahren, wie sich noch empfindlichere Apparate erhalten lassen; doch müssen wir uns zuvor eine genaue Theorie der Erscheinun-

gen entworfen haben, die uns in den Stand setzt, die Feinheit ihrer Verhältnisse in vollem Maße zu würdigen; für jetzt wird der beschriebene Apparat für die meisten Fälle ausreichen.

Unterwerfen wir diesem Prüfungsmittel eine Menge geriebener Substanzen, so finden wir, daß die Beschaffenheit der in ihnen entwickelten Elektricität nichts Absolutes hat, sondern von der Art des Reibzeugs eben so wohl, als von der des geriebenen Körpers abhängt. Glattes Glas z. B., mit Wollenzeug gerieben, nimmt erwähntermaßen positive, mit einem Katzenfell, negative El. an. Seide mit Harz gerieben, wird negativ, mit glattem Glase positiv el.

Folgende Tabelle enthält mehrere Substanzen, welche mit den, ihnen in dem Verzeichniß folgenden, gerieben, positiv, mit den, ihnen vorausgehenden, negativ el. werden, wenigstens innerhalb sehr ausgedehnter Temperaturgränzen.

Katzenfell,	Papier,
Glattes Glas,	Seide,
Wollenzeug	Gummilack
Federn,	Mattes Glas.
Holz.	

Man sieht hinlänglich aus dieser Tabelle, daß keine, in die Augen fallende, Beziehung zwischen der Beschaffenheit oder dem Grundzustande der Substanzen und der Art der El., welche sie, mit einander gerieben, entwickeln, Statt findet; nicht einmal für jede Einzelne derselben findet in dieser Hinsicht etwas Bleibendes Statt; denn die Stelle jeder Substanz in dem vollständigen Verzeichniß wechselt, wenn man ihre Temperatur erhöht oder auch blos die Beschaffenheit ihrer Oberfläche ändert; z. B. wenn man ihr einen andern Grad der Politur giebt.

Das einzige allgemeine Gesetz, welches man bei diesen Erscheinungen gefunden hat, ist, daß der reibende und der geriebene Körper immer entgegengesetzte Elektricitäten annehmen, der eine die positive, der andre die negative.

Den anschaulichen Beweis für diesen Satz zu geben, muß man die beiden, an einander zu reibenden, Körper isoliren. Sind sie von fester Masse, so versieht man sie mit Handgriffen von Glas oder Harz, um sie daran zu halten. Von Vortheil wird es seyn, wofern es geschehen kann, den zu reibenden Substanzen die Gestalt von Scheiben zu geben, damit die Reibung auf einer größern Oberfläche vor sich gehe. Man kann eben so auch einen festen Körper und ein Stück Zeug, oder zwei Stücken Zeug, zwei Thierfelle u. s. w. isoliren und prüfen. Nachdem man das Reiben einige Augenblicke hindurch fortgesetzt hat, trennt man die beiden Körper; und bietet sie, indem man

sie immer noch an ihrem isolirenden Handgriff hält, wechselsweis einem recht empfindlichen el. Pendel dar, das mit einer bekannten Art der El. geladen ist. Stets sieht man es von dem einen Körper angezogen, von dem andern abgestoßen werden; beide haben also verschiedne Elektricitäten. Ich führe diese Art des Prüfungsmittels nur Beispiels halber an, denn oft muß man zu weit empfindlichern seine Zuflucht nehmen. Eine sehr große Anzahl Versuche sind angestellt worden, um auszumitteln, welches die Umstände sind, durch die jeder der beiden Körper bestimmt wird, die eine oder die andre Art der El. anzunehmen; allein es hat sich noch nichts Entscheidendes in diesem Bezug ergeben. Die geringfügigsten Umstände scheinen hier oft den Ausschlag geben zu können; reibt man z. B. eine Scheibe glattes Glas an eine Scheibe mattgeschliffenes, so wird die erstere positiv, die letztre negativ el., ohne daß man zu sagen wüßte, warum die Glätte diesen Einfluß äußert. Werden zwei weißseidne Bänder, von demselben Stück genommen, kreuzweis über einander gerieben, so nimmt das, der Quere nach geriebene, negative El., das der Länge nach geriebene, positive El. an: und man weiß eben so wenig anzugeben, inwiefern die Richtung des Reibens hierbei von Einfluß ist. Endlich ist selbst die Wirkung zuweilen bei denselben Körpern veränderlich. Aepinus versichert, diese Beobachtung gemacht zu haben, als er eine Kupferplatte an eine Schwefelplatte, eben so, als er zwei Glasplatten an einander rieb. Getrennt zeigten sie stets die entgegengesetzten El.; allein die nämliche Art der El. gehörte bald der einen, bald der andern der Platten an.

Auf diese Erscheinungen läßt sich ein sehr anziehender Versuch gründen. Zwei Personen steigen auf Schemel, deren Füße aus massiven Glascylindern oder irgend einer andern isolirenden Substanz bestehen. Diese Schemel werden Isolatorien, Isolirschemel oder isolirende Stative genannt. Eine von beiden Personen hält in der Hand ein recht trocknes Katzenfell und schlägt damit die Kleider der andern. Die erste erhält positive, die zweite negative El., wie man sich überzeugen kann, wenn man beide wechselsweis die Hand einem kleinen, mit einer bekannten El. geladenen, Pendel nähern läßt. Berührt eine nicht isolirte Person sie wechselsweis, so lockt sie aus jeder einen Funken hervor. Es versteht sich, daß diese Erscheinungen nur so lange bestehen, als die elektrisirten Personen auf dem Isolirschemel bleiben; denn steigen sie herunter, so verlieren sie ihre El. sogleich, indem sie dieselbe mit der ungeheuern Masse der Erde theilen. Ist daher blos eine der beiden Personen, gleichviel ob die schlagende oder die geschlagene, isolirt, so wird nur diese Zeichen von El. geben; und ist es weder die eine noch die andre, so wird auch

keine von beiden sich el. zeigen. Wie leicht zu erachten übrigens, dürfen beide Personen sich nicht anders berühren oder sonst in Verbindung mit einander stehen, als mittelst des Reibzeugs.

Das Katzenfell ist zu diesen, so wie zu vielen ähnlichen Versuchen, sehr brauchbar, weil es sehr leicht el. wird. Daher rührt es denn auch, daß, wenn man bei trocknem Wetter mit der Hand über den Rücken einer lebendigen Katze streicht, ihre Haare sich sträuben und von der Hand angezogen werden; manchmal hört man sie sogar knistern und kann Funken daraus hervorlocken. Dies gelingt jedoch nur bei kaltem Wetter, wo die Luft sehr gut isolirt. Die Menschenhaare werden auch, wenn sie nicht fettig sind, durch das Reiben leicht el., zumal feine und weiche, wie gewöhnlich die blonden sind.

Die Reibung tropfbarer Flüssigkeiten an festen Körpern entwickelt auch El. Dies darzuthun, befestigt man an die Luftpumpe einen cylindrischen Glasrecipienten, dessen oberes Ende durch eine hölzerne Schale, in welche man Quecksilber gießt, luftdicht verschlossen ist. Man pumpt die Luft aus dem Recipienten aus; das Quecksilber, dem Druck der äußern Luft nachgebend, sickert durch die Poren des Holzes und fällt als ein feiner Regen herab, der an die Wände des Glascylinders anschlägt. Nähert man jetzt diesem ein, an seinem Seidenfaden schwebendes, el. Pendel, so findet man, daß er selbst elektrisch geworden ist. Zum Gelingen des Versuchs ist erforderlich, daß der Cylinder ganz trocken sey, damit er nicht die, jedenfalls nur sehr schwache El. verliert, welche durch die Reibung des Quecksilbers an seiner Oberfläche erregt wird.

Dies führt uns zur Erklärung einer Erscheinung, welche in vollkommen luftfreien Barometern beobachtet wird. Neigt man ein solches Barometer, so daß die Quecksilbersäule den ganzen leeren Theil der Röhre schnell anfüllt, so sieht man, wenn der Versuch im Dunkeln angestellt wird, augenblicklich ein phosphorisches Licht sich entwickeln, ähnlich dem, welches im leeren Raume durch einen ununterbrochenen Strom von El. erzeugt wird.

Die El. läßt sich auch durch Reibung einer Gasart gegen einen festen Körper erregen. Richtet man mittelst eines Blasebalges einen Strom atmosphärischer Luft gegen die Oberfläche einer Glasplatte, so nimmt sie positive El. an. Ein recht trocknes seidnes Schnupftuch wird auch elektrisch, wenn man es in der Luft schwenkt, aber negativ.

Die Reibung ist nicht das einzige Mittel, El. zu erregen, obwohl das gewöhnlichste. Auch bei Zusammendrückung, Ausdehnung und selbst Abblätterung von Substanzen tritt sie hervor. Weiterhin werde ich mehr über diese Erscheinungen sagen, für jetzt deute ich sie blos an. Man beobachtet auch ein Freiwerden der El. beim Schmelzen ge-

wisser Körper. Gießt man geschmolzenen Schwefel in ein isolirtes Metallgefäß, so wird der Schwefel beim Erkalten positiv, das Metall negativ el. Manchmal erfolgt die Erscheinung auf die umgekehrte Weise, immer aber treten beide El. zugleich hervor. Indeß läßt sich hier nicht bestimmt entscheiden, ob nicht die Erscheinung vielmehr durch die Adhäsion, die fast stets zwischen dem Metall und dem Schwefel eintritt, als durch die Schmelzung, bedingt wird.

Mehrere krystallisirte Mineralkörper von glasartiger Beschaffenheit besitzen auch die Eigenschaft, elektrisch zu werden, wenn man sie auf einen gewissen Grad erhitzt. Dann nimmt ein Ende des Krystalls positive, das andre negative El. an; so daß die Theile, in denen sie vorwalten, von einander geschieden sind. Aber auch hier werden beide Arten von El. stets zugleich hervorgebracht.

Endlich entwickelt sich auch El. bei mehrern chemischen Verbindungen und selbst bei der bloßen Berührung irgend heterogener Substanzen; das Studium und selbst die Wahrnehmung dieser Erscheinungen erfordert jedoch viel zusammengesetztere und empfindlichere Apparate, als die sind, die wir uns bis jetzt verschaffen konnten. Deshalb wird erst weiterhin von ihnen die Rede seyn.

Zweites Capitel.

Von den Gesetzen, nach denen sich die scheinbare elektrische Anziehung und Abstoßung richtet.

Nach Feststellung der Thatsache der el. Anziehung und Abstoßung, müssen wir zum nächsten Gegenstande unsrer Forschung die Gesetze machen, nach denen sie sich in verschiednen Entfernungen äußern. Das beste Hülfsmittel hierzu bietet uns Coulomb's, Bd. I. S. 330 beschriebene, Drehwage dar; gewiß eine der schönsten Anwendungen, die jener Physiker von seinem sinnreicherfundnen Instrumente machte.

Wir sahen oben, daß das Wesentliche dieser Vorrichtung in einem verticalen Metalldraht besteht, dessen oberes Ende an einem festen Punkte befestigt ist, während das untere eine horizontale Nadel trägt. Um sehr geringe Kräfte zu schätzen, läßt man sie auf das Ende dieser Nadel wirken und mißt ihre Intensität durch den Winkel, um welchen sie dieselbe aus der Lage ihrer Ruhe ablenken. Mit einem Worte, man wiegt (ou balance) diese Kräfte durch die Kraft der Drehung, die dem Drehungswinkel stets proportional ist, wie wir der Erfahrung zufolge, S. 331, bemerkten.

Um diesen Apparat zur Messung der el. Anziehung und Abstoßung

anzuwenden, verfertigt man die Nadel aus Gummilack, welches eine sehr isolirende Substanz ist, und befestigt an ein Ende derselben ein Hollundermarkkügelchen b, Fig. 5. Nachdem man nun den Zeiger des Mikrometers M der Drehung auf Null seiner Eintheilung gestellt hat, dreht man die ganze Trommel, die ihn trägt, bis die kleine Kugel b auch vor dem Nullpunct der, an den Wänden des Apparats verzeichneten, Eintheilung steht. [1]) Die Erfüllung dieser Bedingung erkennt man daran, daß, wenn man von der entgegengesetzten Seite des Glasbehälters in der Verticalebene hinsieht, welche den Draht und die Nadel enthält, man letztre gegen den Nullpunct gekehrt erblickt.

Man befestigt nun eine zweite Kugel a an das Ende eines ganz dünnen Cylinders von Gummilack, dem man eine solche Länge giebt, daß, wenn er vertical in den Glaskasten gebracht wird, seine Kugel mit der Kugel der Nadel in ein Niveau kommt; und man giebt ihm eine solche Stellung, daß diese zweite Kugel auch bei dem Nullpunct der Eintheilung zu stehen kommt; wovon man sich, wie vorhin, überzeugt. Dann findet sich die erste Kugel von diesem Punct um einen Bogen entfernt, welcher der Summe der Radien beider Kugeln gleich ist, und die geringe Drehung, die dadurch entstehet (dadurch nämlich, daß die erste Kugel von der zweiten aus ihrer Stellung vor dem Nullpunct etwas seitlich gedrängt wird), erhält sie mit der andern in Berührung.

Offenbar nun, wenn man diese Kugeln, oder auch blos eine derselben, einen Augenblick mit einem elektrisirten und isolirten Körper berührt, werden sie durch Mittheilung auch elektrisch werden, und zwar beide gleichartig elektrisch; sie müssen sich mithin abstoßen; da jedoch die erste Kugel allein beweglich ist, so wird sich die Nadel, an der sie befestigt ist, um einen gewissen Winkel drehen, und nach einigen Oscillationen bei einem gewissen Puncte des Gleichgewichts stehen bleiben, den die Eintheilung an der Seitenwand finden läßt.

---

1) Diese Eintheilung wird auf einem Papierstreifen verzeichnet, den man horizontal rings um den Glasbehälter klebt. Ist dieser kreisförmig, so macht man die Eintheilung nach Graden. Will man jedoch in die Wage Körper von etwas bedeutendem Umfang bringen, so findet man keine hinreichend großen Glascylinder mehr, die dem Apparate zu Wänden dienen könnten; und man setzt diese dann aus vier verticalen Spiegelplatten zusammen, so daß sie in ihrer Verbindung ein Quadrat bilden. Dann wird der, horizontal in der Höhe der Nadel auf diese Platte geklebte, Streifen zur Tangente des Kreises, den die Nadel beschreibt. Man setzt demnach den Nullpunct der Eintheilung dahin, wo die Richtung der Nadeln auf jede Fläche senkrecht ist, und trägt zu beiden Seiten dieses Punkts ungleiche Eintheilungen auf, welche die Tangenten der Bogen von 1°, 2°, 3° u. s. w. vorstellen.

Dann wird der Grad der, im Draht vorhandnen, Drehungskraft der Abstoßung der beiden Kugeln das Gleichgewicht halten, und mithin zum Maße derselben dienen können.

Dies ist in der That das Verfahren, welches man befolgt. Da es jedoch nur einer ausnehmend geringen Kraft bedarf, einen Metalldraht um einen großen Winkel zu drehen, so darf man begreiflicherweise den Kugeln nur sehr schwache Ladungen von El. ertheilen. Man berührt sie deshalb nur mit einem dicken Stecknadelknopf, dessen Stiel in einer Siegellackstange steckt. Dieser Nadelknopf wird durch Mittheilung elektrisirt, indem man ihn entweder einen Augenblick mit dem ersten Conductor einer Elektrisirmaschine, oder auch mit einer geriebenen Glas- oder Harzstange in Berührung bringt. In den Glaskasten wird er durch eine kleine, zu diesem Behuf an gehöriger Stelle angebrachte, Oeffnung eingebracht, indem man ihn an der isolirenden Siegellackstange hält, und, nachdem er die unbewegliche Kugel berührt hat, sogleich wieder zurückzieht.

Bei einem seiner, auf solche Art angestellten, Versuche fand Coulomb, daß die Nadel nach geschehener Berührung einen Winkel von 36° beschrieben hatte. Darauf drehte er den Draht nach der, dieser Abstoßung entgegengesetzten Richtung, so daß die Nadel der unbeweglichen Kugel bis auf 18° genähert war; und zu diesem Ende mußte der Zeiger des Mikrometers um 126° gedreht werden.

Endlich näherte er die Nadel bis auf einen Abstand von 8° ½; wo sichs dann zeigte, daß der Zeiger des Mikrometers, von Null der Eintheilung an, im Ganzen 567° beschrieben hatte.

Während dieser Versuche verloren die Kugeln nicht merklich an El. Denn durch vorläufige Versuche hatte sich Coulomb überzeugt, daß, an diesem Tage, die elektrisirten Kugeln, wenn sie sich um 30° abgestoßen hatten, in drei Minuten blos um Einen Grad sich näherten; und da er zur Anstellung der drei erwähnten Versuche nur zwei Minuten brauchte, so erhellt, daß sich die Verminderung, welche die El. der Kugeln sowohl durch Berührung der Luft als durch Entweichen längs der Träger erfahren konnte, als unmerklich aus der Acht lassen ließ. Dies rührte, wie sich in der Folge ergeben wird, von der Trockenheit der Luft an dem Tage, wo dieser Versuch angestellt wurde, her, so wie von der guten Wahl der isolirenden Träger.

Um den Folgerungen aus diesen Versuchen nachzugehen, wollen wir durch abd Fig. 6, den Umkreis vorstellen, den die bewegliche Kugel b beschreibt; durch c seinen Mittelpunct. Setzen wir zuvörderst den Bogen ab gleich 36°, wie wir ihn nach der ersten Abstoßung fanden; so folgt daraus, daß der Abstoßungskraft der beiden Kugeln durch eine Drehung um 36° nach der Richtung ab das Gleichgewicht gehal-

ten wurde; denn, zufolge der, zu Anfang des Versuchs getroffenen, Anordnungen, ist die Drehung null, wenn die Nadel sich beim Punct a befindet.

Beim zweiten Versuche dreht man den Draht um 126° nach der Richtung ba. Wäre die Nadel frei, so würde sie dadurch nach d', 126° über den Punct a hinausgeführt werden; statt dessen aber hält die abstoßende Kraft sie in b', 18° diesseits dieses Punctes zurück. Bei diesem Abstand hielt mithin die abstoßende Kraft der beiden Kugeln einer Drehung um 126° + 18° d. i. 144° das Gleichgewicht.

Bei dem dritten Versuch endlich betrug die, vom Mikrometer angezeigte, Drehung 567° immer nach der Richtung ba; allein, anstatt um 567° über den Punct a hinauszugehn, blieb die Nadel bei $8°\frac{1}{2}$ diesseits dieses Punctes stehen; mithin hielt die Abstoßungskraft, durch die sie in dieser Entfernung festgehalten wurde, einer Drehung um $567° + 8°\frac{1}{2}$, d. i. $575°\frac{1}{2}$ das Gleichgewicht.

Folgende Tabelle liegt uns demnach zur Vergleichung zwischen den Drehungen und den Abständen vor.

Bogen, um welchen beide Kugeln entfernt waren.	Maß der Abstoßungskraft durch die Drehung.
36°	36°
18°	144°
$8°\frac{1}{2}$	$575°\frac{1}{2}$

Hierin entdeckt man schon ein bemerkenswerthes Gesetz. Die Bogen des Abstandes, welche in der ersten Spalte enthalten sind, verhalten sich fast genau zu einander wie 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, während die entsprechenden Drehungen, die das Maß für die Wirkung der abstoßenden Kräfte auf die Nadel abgeben, unter einander in dem Verhältnisse 1, 4, 16, stehen, d. i. den Quadraten der ersten umgekehrt proportional sind. Hieraus ist ersichtlich, daß die el. Kräfte gleich der Anziehungskraft der Himmelskörper sich nach dem umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen richten.

Eigentlich zwar wird der geradlinige Abstand beider Kugeln nicht durch den Bogen, den die eine beschreibt, sondern durch die Sehnen dieses Bogens gemessen; und die abstoßende Kraft, die sie auf einander äußern, wirkt überdies schief auf die Nadel und trägt daher nicht mit ihrer ganzen Stärke zu ihrer Drehung bei. Indeß beträgt diese Schiefe bei unsern Versuchen wegen der geringen Größe der Bogen nur ganz wenig; und aus der nämlichen Ursach ist auch der Unterschied

zwischen ihnen und ihren Sehnen nur ganz gering. Diese Umstände rechtfertigen sonach die Folgerungen, die wir aus unsern Beobachtungen gezogen haben. Vollends außer Zweifel lassen sie sich indeß setzen, wenn man eine strenge Berechnung zu Hülfe nimmt. Denn aus dieser ergiebt sich, daß, wenn die Abstoßungsbogen nicht größer, als 36° sind, die, aus den Bogen, so wie die, aus den Abständen hergeleiteten, Verhältnisse von denen, die die Beobachtung finden läßt, sich um keine merkliche Größe unterscheiden. Ueberschreiten wir also diese Gränze nicht, so können wir das Gesetz des Quadrats der Abstände auf die Bogen selbst beziehen, welches die Berechnungen um vieles vereinfacht.

Der Draht, dessen sich Coulomb bediente, war von Silber und wegen seiner Feinheit ausnehmend leicht in Drehung zu versetzen. Coulomb ersann jedoch noch empfindlichere Apparate, bestimmt, auch die geringsten Mengen El. anzuzeigen, Fig. 7. Diese Apparate, die wir Elektroskope nennen, sind wahre el. Wagen, in welchen der Metalldraht durch einen einfachen Coconfaden von vier Zoll Länge ersetzt ist. Die Nadel besteht aus einem kleinen, zwölf Linien langen, Faden von Gummilack, der sich an einem Ende in ein kleines ganz dünnes rundes Scheibchen von Silberlahn endigt [1]). Bei einem dieser Apparate, deren sich Coulomb bediente, wog die Nadel mit dem Scheibchen zusammen $\frac{1}{2}$ Grain. Der Seidenfaden hat bei der angegebenen Länge eine solche Biegsamkeit, daß, wenn man auf ihn mit einem Hebelarm von Einem Zoll wirkt, schon das Gewicht eines Sechzigtausendtheils von einem Grain hinreicht, ihn um 360° zu drehen. Um dem Scheibchen die El. mitzutheilen, läßt man durch eine Siegellackstange einen Kupferdraht hindurchgehn, der sich auf einer Seite in eine kleine vergoldete Hollunderkugel, auf der andern in eine Metallkugel oder in einen Haken, dessen Spitze in das Siegellack zurückgeht, endigt. Die so ausgerüstete Siegellackstange bringt man in das Innere des Glaskastens, den Haken nach Außen gekehrt, und befestigt sie so, daß die Mitte der vergoldeten Kugel, durch den Aufhängungsfaden gesehen, dem Nullpunct der Eintheilung an den Wän-

---

1) Ein solcher Faden läßt sich leicht bilden, wenn man an einer Lichtflamme die Mitte eines Stäbchens aus Gummilack, das man an seinen beiden Enden hält, erhitzt. Fängt dies Harz an zu schmelzen, so entfernt man beide Enden schnell von einander, wo sich dann der geschmolzene Theil gewöhnlich in einen sehr feinen Faden zieht, der zu beiden Seiten an zwei festen Enden anhängt. Auf die nämliche Weise lassen sich Faden aus Siegellack und selbst aus Glas ziehen; bei letztern indeß reicht, wenn nicht eine schon ganz feine Röhre genommen wird, die Lichtflamme nicht hin; man muß sich der Schmelzlampe bedienen.

den des Glaskastens entspricht. Wenn sich die Nadel in Ruhe befindet, dreht man behutsam den Zeiger des Mikrometers der Drehung, bis das Scheibchen sich an die vergoldete Kugel anlegt; worauf der Apparat in Wirkung treten kann. Theilt man dem Kupferhaken durch irgend ein Mittel El. mit, so pflanzt sie sich in die Kugel und das Scheibchen fort, welches sogleich abgestoßen wird. Die Empfindlichkeit dieser Elektroskope ist so groß, daß, wenn man eine, durch Reiben elektrisirte, Siegellackstange dem auswendigen Haken auch nur von fern, in einer Weite von drei Fuß, darbietet, die Nadel um mehr als 90° abgelenkt wird. Weiterhin werden wir sehen, wie hierbei die El. in der Entfernung, ohne unmittelbare Mittheilung, erregt werden kann. Für jetzt führen wir diese Thatsache blos als einen Beweis für die ausnehmende Empfindlichkeit des Apparats an. Mit Hülfe dieses Elektroskops lassen sich alle, im vorigen Capitel erörterte, Versuche über die Beschaffenheit der, in verschiednen Körpern durch wechselseitiges Reiben erregten, El. aufs Leichteste wiederholen.

Nachdem solchergestalt die Gesetze der el. Abstoßung ausgemittelt waren, bot sich zunächst die Erforschung der Gesetze der Anziehung dar, welche sich zwischen Körpern, die mit ungleichartiger El. geladen sind, äußert. Auch wurde diese Untersuchung von Coulomb mittelst der nämlichen Verfahrungsarten vorgenommen. Dann aber dürfen sich die Kugeln in ihrer ursprünglichen Lage, bevor sie el. geworden sind, nicht mehr berühren; sie müssen vielmehr von einander entfernt seyn, und in der Drehungskraft ein Hinderniß finden, sich zu vereinigen. Zu diesem Zweck nimmt man erst die befestigte Kugel a Fig. 8, weg, und ertheilt der beweglichen eine El. von bestimmter, z. B. negativer, Beschaffenheit. Darauf dreht man den Zeiger des Mikrometers um einen bestimmten Winkel c; der Faden, durch keine Kraft gehindert, folgt dieser Bewegung, so daß, nach einigen Oscillationen, das Ende der Nadel vor einem andern Punct b der kreisförmigen Eintheilung stehen bleibt, der um c Grade von dem entfernt ist, bei dem es zuerst stand. Durch dies Verfahren wird sonach der Nullpunct der Drehung um eine bekannte Größe nach der Richtung ab verrückt worden seyn. Jetzt bringt man die befestigte Kugel a wieder an ihren Ort, und ertheilt ihr die, der vorigen entgegengesetzte, El.; in unserm Beispiel also positive. Da beide Kugeln sich anziehen, so bewegt sich die Nadel nach der festgemachten Kugel a hin, und bleibt, im Fall das Gleichgewicht möglich ist, irgendwo bei einem gewissen Puncte stehn, den ich mit b′ bezeichnen will. Man bemerkt diesen Punct an der Eintheilung, dreht darauf das Mikrometer um bekannte Größen vorwärts oder rückwärts, um die Drehung zu verändern, und beobachtet wiederum die Lagen, in welcher die Nadel in

jedem dieser Fälle stehen bleibt. Aus der Vergleichung der Drehungen und der Abstände, wie wir sie bei Aufsuchung des Gesetzes für die Abstoßungen ausführten, ergiebt sich hier ein gleiches Gesetz; wonach wir schließen, daß die Anziehungskräfte, welche durch ungleichartige Elektricitäten hervorgebracht werden, eben wie die Abstoßungskräfte, dem Quadrat des Abstands umgekehrt proportional sind.

Eine Vorsichtsmaßregel hat man bei diesen Versuchen zu beobachten, ohne welche dieselbe nicht glücken würden. Wenn die Anziehungskraft beide Kugeln zur Annäherung an einander bestimmt, so nimmt ihre Intensität, in dem Maße, als der Abstand beider geringer wird, zu; und, wäre blos diese Ursach vorhanden, so würden die Kugeln zuletzt sich bis zur Berührung nähern. Allein die Drehung widersetzt sich ihrer Annäherung; ein Widerstand, der in dem Maße wächst, als die Nadel sich von ihrem Ruhepuncte b entfernt, um nach der andern Kugel hinzugehen. Nun wächst über eine gewisse Entfernung hinaus dieser Widerstand nicht mehr schnell genug, um den Anwachs der Anziehungskraft zu besiegen; es kann hier sonach kein Gleichgewicht eintreten; sondern wenn die Kugeln bis zu dieser Gränze gelangt sind, so eilen sie auf einander zu, und treffen zuletzt immer zusammen. Durch eine ganz einfache Rechnung läßt sich dies erweisen, und die Gränze des Abstands bestimmen, über die man nicht hinausgehen darf.

Es ereignet sich sogar, daß die Kugeln sich bis zur Berührung in Fällen nähern, wo das Gleichgewicht nach der Rechnung Statt haben kann. Dies rührt daher, daß die Art der Aufhängung der Nadel gestattet, einige Zeit um die Lage des Gleichgewichts, in der sie zuletzt zur Ruhe kommen soll, zu oscilliren. Wenn die Weite dieser Oscillationen groß genug ist, um die bewegliche Kugel der befestigten so nahe zu bringen, daß die Anziehung in einem raschern Verhältniß als die Drehung wächst, so reicht diese nicht mehr hin, die Nadel zurückzuführen, und die bewegliche Kugel wird bis zur Berührung fortgezogen.

Coulomb hat das Gesetz der el. Anziehungen noch durch eine andre Verfahrungsart erforscht, die ich hier anführe, weil sie zur Bestätigung der vorigen dient, und auch bei der Theorie des Magnetismus ihre Anwendung finden wird. Sie besteht darin, an einem Coconfaden eine Nadel von Gummilack horizontal aufzuhängen, deren Ende eine Scheibe von Silberlahn trägt, die man elektrisirt. Vor diese Nadel, in einiger Entfernung von derselben, stellt man eine mit einer verschiedenartigen El. geladene, Kugel, durch welche die Nadel angezogen und zum Oscilliren gebracht wird. Man bestimmt dann durch Berechnung die Anziehungskraft, in verschiednen Weiten, für

verschiedene Entfernungen der elektrisirten Kugel nach der Zahl der, von der Nadel in einer gegebenen Zeit vollbrachten, Oscillationen; eben wie man auch die Kraft der Erdschwere nach den Oscillationen des gewöhnlichen Pendels bestimmt. Die, auf diesem Wege erhaltenen, Resultate bestätigen des Gesetz des Quadrats der Abstände, zu welchem die Versuche mit der Drehwage geführt hatten.

Die nämliche Methode ließe sich auch zu Erforschung des Gesetzes für die Abstoßungen anwenden. Theilt man nämlich der Kugel und dem Scheibchen gleichartige Elektricitäten mit, so wird letztres abgestoßen werden, die Nadel sich in ihrer Richtung umkehren, und vermöge dieser Abstoßung in einer, der ersten diametral entgegengesetzten, Lage osciliiren; abgesehen aber von dieser Umkehrung, welche auf den Abstand des Scheibchens von der Kugel von Einfluß seyn wird, finden Beobachtungen und Rechnungen, wie vorhin, Statt.

Mittelst der eben gefundnen Resultate läßt sich für alle mögliche Entfernungen die Stärke der Anziehung oder Abstoßung zweier elektrisirten Kugeln berechnen, wenn man dieselbe für eine einzige bekannte Entfernung beobachtet hat.

Hierin hat man indeß erst das Maß der Gesammtwirkung, ohne das Verhältniß zu kennen, in welchem jede der Kugeln dazu beiträgt. Es versteht sich aber, daß beide, wofern sie nicht vollkommen gleich, und mit gleichviel El. geladen sind, auf ungleiche Art dazu beitragen werden. Dies Verhältniß ist sonach noch auszumitteln.

Leicht würde man dazu gelangen, wenn man einer der Kugeln einen Theil El., der ein bekanntes Verhältniß zu dem Antheil, den sie schon besäße, hätte, ertheilen oder nehmen könnte. Denn mäße man dann die neue Drehung, bei welcher in diesem neuen Zustande des Gleichgewicht bestände, so würde man daraus ersehen, wie viel die besondre El. jeder Kugel zur Gesammtwirkung beider beiträgt. Nun hat es gar keine Schwierigkeit, jeder Kugel soviel El. zu rauben, als gerade die Hälfte des, von ihr besessenen, Antheils ausmacht. Man braucht sie nämlich nur zu diesem Zweck einen Augenblick mit einer andern Kugel von demselben Stoff, dem nämlichen Durchmesser, und eben so vollkommener Isolirung zu berühren; denn da alle Umstände für beide Kugeln gleich sind, so wird sich die El. offenbar zwischen sie gleich vertheilen müssen; so daß nach der Berührung die eigenthümliche Wirkung der berührten Kugel um die Hälfte vermindert seyn wird. Bei diesem Verfahren zeigt sich, daß die Gesammtkraft der Anziehung oder Abstoßung, die anfänglich zwischen dieser Kugel und der befestigten Kugel der Wage in Wirksamkeit war, sich genau auf die Hälfte reducirt hat.

Diese Reduction hat nicht allein für Kugeln Statt, sondern auch

für Kreise und wahrscheinlich für alle Körper, deren Gestalt oder Abstand von einander so beschaffen ist, daß man sie bei Berechnung ihrer Anziehung als Puncte betrachten kann. Coulomb substituirte der befestigten Kugel der Wage eine eiserne Scheibe von 10 Linien im Durchmesser, wobei er am Ende der Nadel noch das Hollundermarkkügelchen ließ. Er elektrisirte beide Körper gleichzeitig mittelst des Stecknadelknopfs; die Nadel ward durch die abstoßende Kraft fortgetrieben; und als man sie bis auf einen Abstand von 30° zurückgeführt hatte, zeigte das Mikrometer 110; die abstoßende Kraft betrug demnach 140°. Darauf setzte er die kleine Scheibe von Eisen einen Augenblick mit einer andern aus dem nämlichen Stoff und von dem nämlichen Durchmesser in Berührung; sogleich näherte sich die Nadel; und um sie wieder zu dem Abstand von 30° zurückzuführen, wie im ersten Falle, mußte der Faden zurückgedreht werden, bis der Zeiger des Mikrometers zu 40° zurückgekehrt war; wonach sich die Abstoßungskraft auf 40° + 30° oder 70° reducirt hatte, welches die Hälfte von 140°, wodurch ihre ursprüngliche Intensität gemessen wurde, ist.

Bei diesen Versuchen zeigt sich noch die bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit; daß die Mittheilung ganz auf die nämliche Weise vor sich geht, aus welchem Stoff auch immer die, in Berührung gesetzten, Leiter bestehen mögen, wofern nur die Größe ihrer Oberflächen sich gleich bleibt. Coulomb setzte die befestigte Hollundermarkkugel mit gleich großen Kugeln von Kupfer und verschiednen andern Stoffen in Berührung; die Scheibe von Eisen mit einer Papierscheibe von gleich großem Durchmesser; immer geschah die Mittheilung auf die nämliche Weise.

Diese Beobachtungen führen uns zu zwei wichtigen Folgerungen. Erstens, da die Gesammtkraft der Anziehung oder Abstoßung für jeden Abstand in dem nämlichen Verhältnisse sich ändert, als die Elektricitätsmengen, welche jedem der beiden auf einanderwirkenden Körper angehören, so kann der Ausdruck für die Größe dieser Gesammtkraft nicht anders als dem Product dieser beiden Mengen proportional seyn. Hiernach trägt jede Kugel oder jeder Kreis zu dem ganzen Kraftbestreben, durch welche sie gegen einander gezogen oder von einander abgestoßen werden, nach Verhältniß des Factors, mit dem er in dies Product eingeht, bei. Wir werden hinfort diesen Factor die elektrische Reaction der Kugel oder der Scheibe, deren Wirkung er mißt, nennen; und, nach der Analogie, die nämliche Benennung auch auf die Wirkung aller andern Körper beliebiger Gestalt ausdehnen, wenn sie in so großem Abstand auf einander wirken, daß sie sich als einfache Puncte betrachten lassen.

Zweitens, da die Vertheilung der El. zwischen leitenden Körpern

von derselben Gestalt und demselben Volumen immer in gleichen Verhältnissen geschieht, aus welchem Stoff sie auch bestehen mögen, so folgt, daß diese Körper auf die El. nicht durch eine von der Beschaffenheit und Anordnung ihrer materiellen Theilchen abhängende chemische Verwandtschaft wirken, sondern in Bezug zu derselben nichts weiter darstellen, als Gefäße, in denen sie sich nach ihren eigenthümlichen Gesetzen auf mechanische Weise vertheilt. Wenigstens erfolgen die Vorgänge so, wenn man mit Körpern von merklichem Volumen operirt, wie bei den eben erörterten Versuchen nothwendig der Fall seyn muß. Später indeß werden wir andre Versuche kennen lernen, bei welchen Ströme von El. zu einer Wirkung auf einzelne materielle Theilchen bestimmt werden; dann scheint sie sich an diese Theilchen zu heften, und zwischen sie, je nach ihrer chemischen Beschaffenheit, auf ungleiche Weise zu vertheilen. Möglich übrigens, daß in diesem Fall die Gestalt der Theilchen, in Verbindung mit ihrer ausnehmenden Kleinheit, die Vertheilung der El. und die Intensität der, von ihr in die Entfernung ausgeübten, Wirkung so modificirt, daß sich hieraus die ganze Verschiedenheit der Erscheinungen erklärt, ohne daß die Beschaffenheit der Substanzen selbst anders dazu beiträgt, als vermöge der Verschiedenheit der Gestaltung der kleinsten Theilchen.

Drittes Capitel.

Von den Gesetzen, nach welchen elektrisirten Körpern durch die Berührung der Luft und die unvollkommen isolirenden Träger die Elektricität entzogen wird.

Das allgemeine Gesetz der el. Anziehungen und Abstoßungen ist im Vorigen zur Genüge erörtert worden; um jedoch eine genaue Bestätigung der daraus zu ziehenden Folgerungen erhalten und allen Wirkungen der el. Grundursache bis ins Einzelnste nachgehn zu können, müssen wir uns von ihrer gleichbleibenden Energie überzeugen, oder wenigstens die Gesetze ausmitteln, nach welchen dieselbe durch die Berührung der Luft und die Unvollkommenheit der isolirenden Träger geschwächt wird. Dies ist der Gegenstand dieses Capitels, zu welchem ebenfalls Coulomb's Arbeiten die Data geliefert haben.

Ruht ein elektrisirter Leiter auf isolirenden Grundlagen, so nimmt, der Erfahrung zufolge, die El. in ihm allmälig ab, so daß er nach ziemlich kurzer Zeit kein Zeichen derselben mehr giebt. Mehrere Ursachen scheinen hiezu mitzuwirken. Zuvörderst hat die Natur wahr-

scheinlich keine ganz vollkommen isolirende Substanz aufzuweisen; indem man keine kennt, die nicht wenigstens an ihrer Oberfläche eine starke El. fortzupflanzen vermöchte. Das Glas, das Siegellack, selbst der Gummilack, verbreiten auf solche Weise die El. weiter, zwar nur schwer, doch aber in merklichem Maße. Man kann sich hievon überzeugen, wenn man Cylinder aus diesen Stoffen formt, und einige Zeit blos mit einem ihrer Enden mit dem ersten Conductor einer Elektrisirmaschine in Berührung setzt. Zieht man sie dann zurück, und bietet dies Ende der Nadel des Elektroskops dar, so zeigt es sich mit der El. des Conductors geschwängert, und schneidet man das Ende des kleinen Cylinders ab, so findet man, daß die El. sich auch auf den übrigen Theil seiner Oberfläche bis zu einer gewissen Weite mit abnehmender Intensität verbreitet hat.

Alle Unterlagen und Träger, deren man sich zur Isolirung elektrisirter Körper bedienen mag, müssen diesen mithin auf ähnliche Art El. entziehen; und sind sie kurz genug, um hiedurch in ihrer ganzen Länge elektrisch zu werden, so werden sie einen langsamen aber ununterbrochnen Abfluß der El. verursachen, wodurch allein schon die el. Wirksamkeit des isolirten Körpers immer mehr geschwächt werden muß.

Als eine zweite Ursach dieser Schwächung bietet sich die beständige Umhüllung der elektrisirten Körper mit atmosphärischer Luft, welche alle ihre Puncte berührt, dar. Auch diese pflanzt die El. fort, und zwar mit größerer oder geringerer Leichtigkeit, je nach der Menge des in ihr befindlichen Wasserdunstes, vielleicht auch nach Modificationen, welche die Wärme oder andre Umstände in die Eigenschaften ihrer chemischen Elemente selbst bringt; so daß sie sich im Allgemeinen als aus einer unendlichen Menge mehr oder minder leitender Atome zusammengesetzt betrachten läßt. Hienach muß jedes Luftmolecul, welches einen elektrisirten Körper berührt, ihm einen Theil seiner El. entziehen. So wie es aber soviel davon aufgenommen hat, als seine Größe und Leitungsfähigkeit zuläßt, wird es sogleich wieder abgestoßen und macht einem andern Platz, welches sich gleich ihm El. aneignet, um dann ebenfalls abgestoßen zu werden. Auch vermöge dieses immer wiederholten Zutritts neuer Lufttheilchen also muß die El. der Körper geschwächt werden, in einer, von dem Leitungsvermögen der Luft abhängenden, Progression.

Endlich wirken auch die, in der Luft schwebenden, Wasserdünste noch auf eine andre Weise zu diesem Verlust mit. Sie hängen sich nämlich an die Oberfläche der isolirenden Träger in größerer oder geringerer Menge an, je nachdem die Luft reich oder arm an denselben ist, und je nachdem der Stoff, aus dem die Träger bestehen, eine

größere oder geringere Verwandtschaft zum Wasser hat. Diejenigen dieser Wassertheilchen nun, welche dem el. Körper zunächst sind, nehmen von ihm unmittelbar die El. auf; und wenn die Kraft, mit der er sie alsdann zurückstößt, geringer ist als die chemische Anziehung, die sie am Träger fest hält, so müssen sie diese El. zum Theil zu ihren Nachbarmoleculen fortpflanzen, diese wieder zu den folgenden u. s. f., so daß alle diese, ausnehmend leitungsfähigen, Theilchen zusammen gleichsam eine Kette darstellen, in welcher die El. allerdings vom leitenden Körper an immer mehr abnehmen muß, die jedoch, bei nicht hinreichender Länge des isolirenden Trägers, endlich dieselbe bis zu den umgebenden Körpern und von da in den Boden überzuführen vermag. Wenn die, diese Kette bildenden, Theilchen einander mehr genähert sind, als in der Luft selbst, wie oft der Fall seyn muß, so wird sich die El. schneller längs des Trägers verlieren als durch die Berührung mit der Luft; und in der That ist dem häufig so, wie wir bald sehen werden.

So schwierig es auch scheinen mag, der letztern Ursach zu begegnen, geschehen wird es immer müssen, wenn man den Verlust in Erfahrung bringen will, den die El. blos vermöge der Berührung der Luft erfährt, um ihn dann bei den zusammengesetzten Beobachtungen, wo er zu dem Verluste durch die Träger hinzutritt, gehörig in Rechnung ziehen zu können. Das einzige Mittel, hiezu zu gelangen, liegt darin, die Träger aus den bestmöglichst isolirenden Stoffen zu verfertigen, und ihre Dimensionen so zu verringern, daß ihre Oberfläche verhältnißmäßig weniger Wassermolecule und andre leitende Theilchen enthalte, als deren in der umgebenden Luft vorhanden seyn können. Denn dann wird der Träger wenigstens eben so gut, als die Luft isoliren, und man wird bei der geringen Berührungsfläche, die er mit dem elektrisirten Körper hat, den Unterschied ganz übersehen können.

Durch verschiedne, zu diesem Behuf angestellte, Versuche fand Coulomb, daß bei nicht sehr starker Intensität der El. ein kleiner Cylinder von Siegellack oder Gummilack, von einer halben Linie im Durchmesser und 18 bis 20 Linien Länge, fast immer hinreichte, ein Hollunderkügelchen von fünf bis sechs Linien im Durchmesser vollkommen, oder wenigstens eben so gut, als die umgebende Luft, zu isoliren. Denn wurde die Kugel durch mehrere solche Cylinder unterstützt, so verlor sich die El. nicht schneller aus ihr, als bei Unterstützung durch einen einzigen, obwohl die Leichtigkeit des Verlusts längs der Oberfläche der Cylinder mit der Zahl ihrer Berührungspuncte zunehmen mußte. Dieser Verlust war also hier demjenigen gleich, den die Luft durch ihre Berührung an denselben Puncten für sich bewirkt haben würde. So überzeugte sich auch Coulomb, daß bei trockner Luft ein

ganz feiner, durch siedendes Siegellack gezogener, Seidenfaden, der mit dem so erhaltenen Ueberzuge einen kleinen Cylinder von höchstens einer Viertellinie im Durchmesser darstellte, auch zur Isolirung hinreichte, wenigstens wenn man ihm eine Länge von fünf bis sechs Zoll gab. Ein an der Lampe ausgezogener Glasfaden von fünf bis sechs Zoll Länge isolirt die Kugel nur an sehr trocknen Tagen, und dann nur, wenn sie sehr schwach mit El. geladen ist. Dasselbe gilt von einem Haar oder Seidenfaden, wenigstens, wenn sie nicht mit Siegellack, oder, besser noch, mit reinem Gummilack überzogen sind.

Geleitet durch diese vorgängigen Beobachtungen löthete Coulomb die unbewegliche Kugel seiner Wage an das Ende eines 20 Linien langen Fadens von feinem Gummilack; und hing sie noch zuletzt an einem ganz feinen, mit Siegellack überzogenen, Seidenfaden auf, so daß sich diese Kugel als vollkommen isolirt betrachten ließ. Dasselbe ließ sich von der beweglichen Kugel annehmen, weil die, sie tragende, Nadel auch ein ganz feiner Cylinder von Gummilack ist. Coulomb nahm diese beiden Kugeln zuerst von gleichem Durchmesser, und wählte eine Wage, die hinreichend empfindlich war, daß zur Drehung um einen ganzen Umkreis blos eine, auf das Ende der Nadel wirkende, Kraft von $\frac{1}{360}$ Gran erforderlich war. Nachdem der Nullpunct der Drehung des Drahts an die Mitte der unbeweglichen Kugel gebracht ist, und beide Kugeln in Berührung mit einander sind, berührt man alle beide mit einem elektrisirten und isolirten Nadelknopfe, nach der, schon bei unsern ersten Versuchen erörterten, Verfahrungsweise. Die bewegliche Nadel wird abgestoßen, und bleibt nach einigen Oscillationen in einer gewissen Entfernung von ihrem ersten Ruhepuncte stehen, z. B. bei 40°.

Man dreht jetzt den Aufhängungsdraht so, daß die Nadel bis zu einer geringern Entfernung, z. B. von 20°, zurückgeführt wird. Gesetzt, hiezu wäre eine Drehung des Zeigers am Micrometer um 140° erforderlich; so beträgt die, der abstoßenden Kraft beider Kugeln gleiche, Drehungskraft 140° + 20° d. i. 160°.

Man beobachtet mit einer Secundenuhr genau den Zeitpunct, wo die bewegliche Kugel gerade in dieser Entfernung stehen blieb. Es ist 6 Uhr 50 Minuten.

Da die El. durch die Berührung der Luft vermindert wird, so nimmt die Abstoßungskraft der Kugeln allmälig ab; und nach Verlauf einiger Minuten beträgt ihre Entfernung nicht mehr 20 Grad. Um sie dahin zurückzuführen, dreht man den Draht um eine bekannte Größe, z. B. um 30°, zurück. Da seine Drehungskraft um so viel vermindert worden ist, so wird jetzt die bewegliche Kugel in eine größere Entfernung, als 20°, zurückgetrieben. Man wartet, bis sie ver-

möge des Verlusts an El. dahin zurückgekehrt ist, und bemerkt diesen zweiten Augenblick. Gesetzt er falle um 6 Uhr 53 Min., also drei Minuten nach dem Zeitpunct der ersten Beobachtung; die der Abstoßungskraft beider Kugeln gleiche Drehungskraft ist dann

$$140° - 30° + 20° \text{ d. i. } 130°.$$

Die Abnahme, die die Abstoßungskraft in der Zwischenzeit zwischen beiden Versuchen erlitten hat, ist somit gleich $160° - 130°$ oder $30°$, d. i. gleich der Größe, um welche der Draht zurückgedreht wurde, damit zwischen den Kugeln wieder der nämliche Abstand eintrat. Diese Abnahme hatte binnen drei Minuten Statt, und da man sie für kleine Zeiträume der Zeit proportional findet, so folgt, daß sie in der Minute $10°$ betrug. Die mittlere Abstoßungskraft zwischen beiden Versuchen ist ferner $\frac{160 + 130°}{2}$ oder $145°$. Vergleicht man damit die beobachtete Abnahme, so ergiebt sich, daß sich die el. Kraft beider Kugeln an diesem Tage um $\frac{10}{145}$ oder $\frac{1}{14\frac{1}{2}}$ in der Minute vermöge der bloßen Berührung der Luft verminderte.

Versuche dieser Art führten Coulomb zu dem sich gleichbleibenden Resultate, daß für denselben Tag und denselben Zustand der Luft die Schwächung der El. in einer ganz kurzen Zeit, ihrer Intensität proportional erfolgt, so daß das Verhältniß dieser beiden Elemente unveränderlich ist. Es ändert sich aber mit den Anzeigen des Hygrometers, mithin mit der Menge der in der Luft schwebenden Wasserdünste.

Von großem Interesse in diesem Bezug würden wiederholte Versuche zur Ausmittelung des Verhältnisses seyn, welches zwischen der Menge der Wasserdünste und dem langsamern oder schnellern Verlust an El. Statt findet. Hiedurch würde man zugleich erfahren, ob diese Dünste allein die ganze Erscheinung bedingen, aber ob auch Druck und Temperatur der Luftmolecule selbst zu ihrer Modificirung mitwirken. Wäre eine Messung dieser verschiednen Einflüsse geglückt, so würde man vielleicht in der el. Wage das zuverlässigste und empfindlichste aller Hygrometer finden. Umgekehrt würde sich dann nach den bloßen Anzeigen der meteorologischen Instrumente das Verhältniß, nach dem die El. geschwächt werden müßte, bestimmen lassen. Bei dem Mangel hieher gehöriger Kenntnisse ist man genöthigt, dies Verhältniß direct auf dem Erfahrungswege für jeden Tag auszumitteln, wo man es zu wissen nöthig hat, d. i. jedesmal, wo man genaue Untersuchungen über die Intensität der el. Kräfte anstellen will.

Hiebei kommt der Umstand sehr zu Statten, daß das Gesetz dieser Abnahme so einfach ist; da dieselbe sich nämlich bei gleichbleiben-

dem Zustand der Luft der absoluten Intensität der Abstoßungskraft proportional verhält, so braucht man sie für jedesmal nur durch einen einzigen Versuch zu finden, um dann danach alle übrigen Beobachtungen zu corrigiren. Noch mehr: das eben gefundne Gesetz verstattet eine Berechnung der Intensität der el. Kräfte für jeden beliebigen Zeitpunct, wenn man sie nur an einem einzigen beobachtet hat, und das Gesetz kennt, nach welchem die El. gerade in diesem Tage abnimmt. Die Ausführung dieser Berechnung findet man in meinem größern Werke; hier muß ich mich mit einer Andeutung derselben begnügen. Die Untersuchung der, aus ihr fließenden, Resultate führt zu der Einsicht, daß das nämliche Gesetz der Abnahme sich auch auf den Fall erstrecken muß, wo beide, auf einander wirkende, Körper von ungleichem Volumen und mit ungleichen Mengen von El. geladen sind. Auch bestätigt dies die Erfahrung wirklich. In welchem Verhältniß immer das Volumen der unbeweglichen Kugel zu dem der beweglichen stehen mag, welche Menge El. man beiden ursprünglich ertheilt haben mag, gleichviel, ob sie gleichzeitig oder eine nach der andern, und in welchen Verhältnissen sie elektrisirt wurden, die Abnahme ihrer Gesammtabstoßungskraft, in der nämlichen Entfernung gemessen, behält für einen kurzen Zeittheil immer dasselbe Verhältniß zu ihrer Intensität; so daß alle Beobachtungen sich gleich eignen, dieses constante Verhältniß zur Kenntniß zu bringen. Ja was noch mehr ist, dies Verhältniß ändert sich selbst nicht, wenn man Kugeln aus verschiednem Stoff nimmt. Die Beschaffenheit der Substanz, aus der sie bestehen, hat durchaus keinen Einfluß auf den Verlust an El., den die Berührung der Luft hervorbringt, keinen wenigstens auf den Theil dieser El., der durch Anziehung und Abstoßung in die Weite wirkt; was sehr gut zu der, schon von uns gemachten, Beobachtung stimmt, welcher zu Folge die materiellen Körper von merklichem Volumen das el. Princip keineswegs durch eine besondre Verwandtschaft fest zu halten scheinen, sondern blos vermöge des Widerstandes, den die Theilchen der leitenden Oberflächen und der Druck der umgebenden Luft seiner Expansion entgegensetzen. An einem Tage z. B., wo die El. während einer Minute an jeder der Hollundermarkkugeln der Wage sich um $\frac{1}{82}$ verminderte, fand Coulomb, daß der Verlust noch eben so viel betrug, wenn er diesen Kugeln kupferne substituirte; und, was noch außerordentlicher scheinen wird, er betrug selbst noch $\frac{1}{82}$ an einer Siegellackkugel, die durch Berührung mit einem stark elektrisirten Körper geladen worden war; so daß selbst in diesem Fall die Art Schwierigkeit, welch die Oberfläche eines solchen Körpers der Fortleitung des el. Princips entgegensetzt, nicht zur Zurückhaltung des Theils dieses Princips zu wirken vermochte, der,

an der Oberfläche frei geworden, sich durch seine Wirksamkeit kund that.

Unsre bisherigen Betrachtungen bezogen sich blos auf Kugeln; allein auch für jede andre Gestalt gilt das angeführte Gesetz. Es kommt hierbei weder auf die Dicke des Körpers, noch die Vertheilung seiner Repulsivkraft (Zurückstoßungskraft) an; wofern nur die Luft sehr trocken, und der Körper nicht mit einem zu beträchtlichen Grade El. geladen ist, bleibt sich die Abnahme der Repulsivkraft für einen ganz kurzen Zeittheil immer gleich, und behält das nämliche Verhältniß zu ihrer Intensität. Coulomb hat dies durch Versuche bewährt gefunden, die er mit einer Kugel von fußgroßem Durchmesser, und Cylindern von sehr verschiednen Längen und Dicken anstellte. So auch substituirte er den Kugeln seiner Wage Papier = oder Metallscheiben; armirte selbst einmal eine derselben mit einem kleinen Kupferdraht von 10 Linien Länge, und einer Viertellinie im Durchmesser; und fand, daß an dem Tage, wo er seine Versuche anstellte, die Repulsivkraft aller dieser, so verschieden gestalteter, Körper gleichmäßig um $\frac{1}{100}$ in der Minute vermindert wurde. Zu bemerken ist jedoch, daß diese Gleichheit der Abnahme für verschiedengestaltete Körper nur dann Statt hat, wenn die Intensität ihrer El. schon bis zu einem ziemlich schwachen Grade herabgebracht ist, der um so schwächer seyn muß, je mehr Feuchtigkeit in der Luft enthalten ist. Denn theilt man Körpern von eckiger Gestalt eine sehr starke El. mit, so verlieren sie das Uebermaß derselben in einer weit raschern Progression, deren Gesetze wir bei Abhandlung der El. der Spitzen auseinandersetzen werden; und diese schleunige Abnahme dauert so lange fort, bis die Schwächung der El. zu der Gränze gelangt ist, wo sie constant zu werden anfängt. Man kann diese Erscheinung selbst ohne Beihülfe der Wage zum Augenschein bringen, indem man den ersten Conductor der Elektrisirmaschine mit einer eckigen oder mit Spitzen besetzten Metallstange in Verbindung bringt. Dreht man nun im Dunkeln die Scheibe der Maschine, so bringt die, dieser Stange mitgetheilte, El., indem sie durch die Spitzen ausströmt, Lichtbüschel hervor, welche ein sehr schönes Schauspiel gewähren. Ich behaupte hiermit nicht, daß dies Licht die El. selbst sey, eine Frage, die wir erst weiterhin untersuchen können; allein, da sich ein solches Licht immer als Begleiter eines schnellen Verlusts an El. zeigt, so kann man in ihm wenigstens ein Zeichen und eine Andeutung dieses Verlusts finden. Nicht unwichtig mußte die Untersuchung seyn, ob bei demselben Zustande der Luft der langsame Verlust beider El. der Zeit nach gleich erfolgt; und in der That hat sich mir durch Versuche in diesem Bezug die vollkommenste Gleichheit ergeben.

Nachdem Coulomb auf diese Weise das Gesetz der allmäligen Verminderung der El., in wie fern sie blos von der Berührung der Luft abhängt, gefunden hatte, schritt er mittelst der nämlichen Methode zur Ausmittlung des Verlusts, den die unvollkommen isolirenden Träger bedingen.

Der erste Gedanke, der sich in dieser Hinsicht darbietet, ist, bei der Wahl der Träger so zu Werke zu gehn, daß der durch sie hervorgebrachte Verlust sehr beträchtlich im Verhältniß zu dem wird, welchen die bloße Berührung der Luft mit sich bringt. Diese so rasche Verminderung würde jedoch einen wichtigen Uebelstand mit sich führen. Jedesmal nämlich, wenn man den Apparat berührt, um entweder den Kugeln ihre ursprüngliche El. zu ertheilen, oder die Drehung mittelst des Mikrometers abzuändern, kommt die Nadel erst nach einigen Oscillationen zu einer festen Lage zurück. Die Isolirung muß mithin immer noch vollkommen genug seyn, daß die Intensität der El. in diesem Zeitraum keine sehr großen Abänderungen erfahre, und man mehrere Beobachtungen dieser Art hinter einander anstellen könne, ohne die Kugeln von Neuem mit El. laden zu müssen. Mit Rücksicht auf diese Bemerkungen hing Coulomb die unbewegliche Kugel seiner Wage nicht mehr an einem kleinen Cylinder von Gummilack auf, der als vollkommen isolirend betrachtet werden konnte, sondern an einem einfachen Coconfaden von funfzehn Zoll Länge. Die bewegliche Kugel der Nadel blieb dabei vollkommen isolirt und der andern an Volumen gleich. Nachdem beide Kugeln zugleich elektrisirt worden waren, maß Coulomb die abstoßende Kraft, die sie zu verschiednen Zeitpuncten noch hatten, nach der bei den vorigen Versuchen erörterten Weise, und berechnete die sich daraus ergebende Abnahme der Elektricitätsmengen, mit denen sie geladen waren. Er fand auf solche Weise, daß diese Abnahme, die zuerst, wenn die Intensität der zurückstoßenden Kraft bedeutend ist, weit rascher, als durch die Luft allein, erfolgt, mit Verminderung dieser Intensität allmälig sich verzögert; so daß endlich eine Gränze eintritt, wo die, vom Coconfaden gehaltene, Kugel genau so viel Verlust erleidet, als wenn sie auf eine vollkommene Art isolirt wäre; und, ist diese Gränze einmal eingetreten, so erhält sich dann diese Verminderung für alle schwächere Grade der Intensität in derselben Gleichmäßigkeit fort. Wir ersehen hieraus, daß von dieser Gränze an der Faden vollkommen zu isoliren anfängt.

Bei diesen Versuchen erleidet die bewegliche Kugel nur durch die Berührung der Luft Verlust an ihrer El. Man kann demnach für jeden Augenblick den Grad ihrer el. Reaction nach dem oben festgestellten Gesetz der durch die Luft bedingten Abnahme berechnen; und da die Beobachtung der Gesammtabstoßungskraft, welche sich in diesem Au-

genblick zwischen beiden Kugeln zeigt, das Product ihrer beiderseitigen el. Reactionen giebt, so läßt sich daraus für den nämlichen Augenblick die el. Reaction der unbeweglichen Kugel herleiten. Diese Berechnung führt mithin zur Kenntniß des Einflusses, den die unvollkommene Isolirung hat. Durch Anwendung derselben auf die angeführten Beobachtungen gelang es Coulomb, den Grad elektrischer Reaction zu bestimmen, bei welchem jeder der, von ihm in Gebrauch gezogenen, Träger vollkommen zu isoliren anfing. Er fand, daß die Intensität dieser Reaction der Quadratwurzel der Länge der Träger proportional war; d. h., daß bei demselben Zustande der Luft ein Träger von vierfacher Länge vollkommen eine doppelte Quantität El. isolirt. Diese Verhältnißmäßigkeit hat jedoch nur in Bezug auf ganz dünne cylindrische Träger Statt, die sich blos in der Länge, nicht aber dem Stoff, aus dem sie bestehen, oder der Dicke nach unterscheiden. Aendert sich der eine oder andre von letztern Umständen, so muß das Verhältniß aus der Formel selbst hergeleitet werden. So fand z. B. Coulomb, indem er von der Erfahrung ausgehend die Intensität der el. Reaction berechnete, bei welcher gleich lange und dicke Faden von Gummilack und von Seide zu isoliren anfangen, den Werth dieser Intensität für erstre Substanz zehnmal stärker, als für letztre. Durch ähnliche Berechnung läßt sich eine vergleichende Schätzung für den Isolirungsgrad aller, die El. unvollkommen fortleitenden, Körper erhalten.

Zu einer solchen vergleichenden Zusammenstellung eines Stoffs mit einem andern, ist keineswegs erforderlich, daß man die Kugeln der Wage bei beiden Reihen von Versuchen in einem und demselben Abstande beobachtet; es ist schon genug, wenn dieser Abstand in jeder Reihe für sich beständig erhalten, und jedesmal sein Werth in die Formel substituirt wird. Eben so ist es auch gleichgültig, welchen Grad der El. man den Kugeln ertheilt haben mag. Immer aber müssen sie von gleichem Volumen und gleichzeitig elektrisirt seyn; auch bei allen Versuchen, eben sowohl als der Drehungsfaden, dessen man sich bedient, dieselben bleiben. Widrigenfalls würde das Verhältniß der Drehungen zu den Abstoßungskräften in den verschiednen Reihen nicht gleich ausfallen, und ihre Vergleichung somit nur auf einem schwierigen und weiten Wege zu bewerkstelligen seyn. Dies sind die einzigen Vorsichtsmaßregeln, die man zu beobachten hat.

Viertes Capitel.

Von der Art, wie sich die Elektricität in den isolirten Leitern ins Gleichgewicht setzt.

Jetzt, da wir uns in den Stand gesetzt sehen, mittelst der Berechnung die el. Reaction der Körper auf einen bleibenden Zustand zurückzuführen, ungeachtet der fortdauernden Verminderung, die sie durch die Luft und die Träger erfährt, können wir zu der Untersuchung schreiten, wie sich die El. zwischen den verschiednen Theilen eines und desselben Körper, sowohl in seinem Innern, als an seiner Oberfläche vertheilt.

Nun läßt sich, zufolge dessen, was uns schon die Erfahrung hierüber gelehrt hat, mit höchster Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die El. sich ganz und gar auf die Oberfläche der Leiter begiebt, ohne daß deren innere Theile das Geringste davon zurückhalten. Wie ließe sich sonst die gleiche Theilung der El. zwischen zwei sich berührenden Körpern erklären, bei denen nur die Oberflächen gleich sind, der Stoff aber, aus dem sie bestehen, beliebig verschieden ist; wie könnte ferner eine solche gleiche Theilung zwischen zwei Körpern möglich seyn, deren einer massiv und mit Materie ausgefüllt, der andre hohl und fast auf eine bloße Oberfläche reducirt ist, wenn sich nicht die El. im Zustande des Gleichgewichts blos auf der Oberfläche der Körper verbreitete, ohne in ihr Inneres zu dringen.

Diese Eigenthümlichkeit, auf welche wir durch die Analogie geführt werden, ist von solcher Wichtigkeit, daß wir suchen müssen, sie unmittelbar durch die Erfahrung zu bewähren.

Zuvörderst kann folgender Versuch zur Nachweisung derselben dienen. Man nehme einen Leiter von sphäroidaler Gestalt, wie S, Fig. 9; verfertige zwei ganz dünne Hüllen, EE, gleichfalls aus einem leitenden Stoffe, z. B. aus Weißblech oder aus Pappe mit Goldpapier überzogen, und gebe ihnen eine solche Gestalt, daß sie an einander schließend den Körper S völlig einhüllen. - Aeußerlich an diese Hüllen befestige man Griffe von Gummilack, EM, um sie daran anzufassen ohne ihnen die El. zu entziehen. Darauf lege man den Körper S auf eine isolirende Unterlage, oder hänge ihn an einem ganz feinen, durch Gummilack gezogenen, Seidenfaden auf, und theile ihm einen beliebigen, gleichviel ob starken oder schwachen, Grad von El. mit. Nachdem man darauf die beiden Hüllen berührt hat, um sicher zu seyn, daß sie frei von El. sind, umgebe man das Sphäroid S damit, indem man sie an ihren isolirenden Handgriffen faßt; ziehe sie sogleich auf die nämliche Weise wieder zurück, und biete sie einem el. Pendel dar;

man wird finden, daß sie sich die El. des Sphäroids angeeignet, und zwar ganz und gar angeeignet haben; denn auch selbst durch das empfindlichste Elektroskop geprüft wird sich des letztern el. Reaction jetzt null zeigen. Zum Gelingen des Versuchs ist erforderlich, daß die Ränder beider Hüllen nach Außen gekehrt und auf ihre äußere Oberfläche umgelegt sind, damit sie nicht mit ihrer Schärfe die Oberfläche des umschlossenen Sphäroids berühren; denn in diesem Fall würde die Anhäufung der El. an diesem scharfen Rande beim Zurückziehn der Hüllen eine Entladung bewirken, und das Sphäroid wieder el. erscheinen. Die Hüllen brauchen übrigens, wenn sie einander genähert sind, die Oberfläche des Sphäroids nicht unmittelbar zu berühren; es reicht schon hin, wenn zwischen ihnen und dieser Oberfläche nur ein so geringer Zwischenraum übrig bleibt, daß die El. des Sphäroids zu den Hüllen durch unmerkliches Ueberströmen, oder durch Funken übergehen kann. Auf welche Weise auch dieser Uebergang Statt gefunden haben mag, sobald die El. einmal in die Hüllen getreten ist, kehrt sie nicht wieder zum Sphäroid zurück, selbst wenn man jene auf die entladene Oberfläche wieder aufsetzt.

Noch läßt sich diese Eigenschaft auf eine andre und gewissermaßen allgemeinere Weise darthun, weil der, dem Versuch zu unterwerfende, Körper hiebei eine beliebige Gestalt haben kann, und ihm durch den Versuch nichts von seiner El. entzogen wird. Man bringt blos auf der Oberfläche dieses Körpers ein oder mehrere kleine cylindrische Löcher von vier bis fünf Linien im Durchmesser und willkührlicher Tiefe an; zieht einen Faden Gummilack auf einige Zoll Länge aus, und befestigt an sein Ende ein rundes Scheibchen Goldpapier, gleich dem, an der Nadel des Elektroskops angebrachten, dessen Durchmesser das Drittheil oder Viertheil von der Breite der Löcher hält. Darauf isolirt man den Körper S, elektrisirt ihn stark durch einige, aus dem ersten Conductor der Elektrisirmaschine gezogene, Funken oder sonst auf eine andre Art; faßt alsdann den Cylinder von Gummilack an seinem freien Ende, und bringt das Scheibchen Goldpapier, welches er trägt, geschickt in die Höhlen des Körpers S, wohl Acht habend, die Ränder ihrer Oeffnung nicht damit zu berühren. Zurückgezogen nun aus diesen Höhlen bringt das Scheibchen auch kein Atom El. mit sich, äußert nicht die geringste Abstoßung, wenn man es der Nadel des Elektroskops darbietet, die zuvor mit einer, dem des Körpers gleichartigen, El. geladen war. Hat man aber, nach mehrmaliger fruchtloser Wiederholung dieses Versuchs, das Scheibchen einen Augenblick mit der äußern Oberfläche des Körpers S, oder auch blos mit dem Rande einer der darin gebohrten Höhlungen in Berührung gebracht, so äußert es eine lebhafte Abstoßung auf die Nadel des Elek-

troskops. Alle El. des Körpers S hat mithin auf der Oberfläche desselben ihren Sitz; keine ist in seinem Innern vorhanden; und nicht nur ist keine darin vorhanden, sondern sie ist selbst auf keine Weise darin festzuhalten. Denn ladet man das kleine Scheibchen von Goldpapier unmittelbar, indem man es die El. einem andern Körper oder der äußern Oberfläche des Körpers S entziehen läßt, und bringt es dann in die Höhlung dieses Körpers ein, so wird es von aller, ihm so ertheilten El. verlassen, indem diese in den umgebenden Körper S übergeht und sogleich nach seiner äußern Oberfläche steigt; so daß die kleine Scheibe sich entladen zeigt, wenn man sie aus der Höhlung zurückzieht.

Dies Resultat gilt für alle Leiter gleich, welches immer ihre Gestalt seyn mag. Man wird jedoch bei Wiederholung des Versuchs manchmal finden, daß das Scheibchen Goldpapier, nachdem es aus der Höhlung zurückgezogen ist, schwache Zeichen einer El. von entgegengesetzter Beschaffenheit, als die der Körper S besitzt, zeigt, die selbst dann nicht verschwindet, wenn man durch Berührung seine Entladung zu bewerkstelligen sucht. Diese Beharrlichkeit zeigt, daß die in Rede stehende El. dem Scheibchen nicht eigenthümlich ist, sondern durch den Gummilack selbst mitgetheilt wird, der ihm seinen Verlust immer wieder ersetzt, so daß sich hieraus kein Schluß auf ein Vorhandenseyn der El. im Innern des Körpers S ziehen läßt. Wie aber ist es möglich, daß hiebei der Cylinder von Gummilack (ohne die Ränder der Oeffnungen zu berühren und blos vermöge seiner Nähe an denselben eine, der des Körpers S entgegengesetzte, El. annehmen kann? Dies ist eine Erscheinung, deren Erklärung sich bald ergeben wird, wenn wir von der Erregungsart der El., welche in die Ferne Statt hat, handeln werden. Hier nur so viel, daß diese, rein zufällige, Wirkung fast immer unmerklich ist, wenn der Gummilack rein, die Luft trocken ist, und man den kleinen Cylinder nicht zu lange in den Höhlen verweilen läßt.

Durch vorstehende Erfahrungen können wir uns also zur Genüge überzeugt halten, daß das el. Princip, welcher Art es auch seyn mag, seinen Sitz nicht im Innern der Leiter nimmt, sondern sich ganz auf ihre Oberfläche begiebt. Andre Versuche haben uns überdies gelehrt, daß sie durch die Luft auf dieser Oberfläche festgehalten und nur durch sie gehindert wird, diese Körper zu verlassen. Aus der Zusammenstellung dieser beiden Resultate ergiebt sich also, daß das el. Princip, welcher Beschaffenheit es übrigens seyn mag, in den Leitern stets die Gestalt einer ganz dünnen Schicht annimmt, deren äußere, an die Luft unmittelbar gränzende, oder durch den Druck dieser Flüssigkeit beschränkte, Oberfläche mit der Oberfläche des elektrisirten Körpers zu-

sammenfällt, während die innere, obwohl sie wegen der geringen Dicke der Schicht von jener nicht sehr unterschieden seyn kann, nach andern Gesetzen bestimmt ist, über die wir durch die Beobachtung Aufschluß zu erhalten suchen müssen.

Ist der elektrisirte Körper z. B. eine Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie eine, mit der äußern Oberfläche gleich kugelförmige und concentrische, Gestalt der innern Oberfläche der el. Schicht; denn beide Oberflächen müssen nach allen Richtungen um den Mittelpunct gleich symmetrisch seyn, weil die Bedingungen, welche die Expansion der El. beschränken, sich nach allen Richtungen um diesen Punct gleich verhalten. Häuft man in einer Kugel nach und nach immer größere Mengen El. an, so kann man sich entweder denken, daß die neu hinzugetretenen Mengen sich kugelförmig unter die ersten legen, und so die Dicke der Schicht vermehren; oder auch, daß die Dicke gleich bleibt, die Dichtigkeit der El. an jedem Puncte aber zunimmt. In Bezug auf die Versuche ist es gleichgültig, welcher von beiden Ansichten man folgen will; denn da die Dicke der Schicht immer nur sehr gering ist, so müssen alle, unter jedem kleinen Elemente der Oberfläche angehäuften, el. Molecule ihre Anziehung oder Abstoßung auf die äußern Körper gerade so äußern, als wenn sie sämmtlich in einem einzigen Punct vereinigt und mithin unendlich verdichtet wären. Ihre Wirkung wird somit immer ihrer Anzahl proportional seyn, nach welcher Art man sie auch schätzen mag. Für eine physische Betrachtungsart aber scheint die Vorstellung einer wesentlich begränzten Dicke wenig natürlich zu seyn; da im Innern der Leiter kein Hinderniß vorhanden ist, welches der Verbreitung der El. daselbst entgegenstände. Wenn sie sich nicht in ihrem Innern verbreitet, so kann dies nur in den Gesetzen ihres Gleichgewichts begründet liegen; und eben deshalb wird es sehr wahrscheinlich, daß für jede gegebene Menge El. die Dicke der el. Schicht auch in diesen Gesetzen begründet sey,

Die eben erörterte Methode, einen Leiter in Bezug auf seine El. dadurch zu prüfen, daß man ihn mit einem kleinen Scheibchen Goldpapier, angebracht an dem Ende eines Fadens von Gummilack, berühret, ist auf sehr viele Fälle anwendbar. Sie kann sogar dienen, nicht nur das Daseyn und die Beschaffenheit dieser El. kennen zu lehren, sondern auch die absolute Menge derselben, die sich auf jedem Element der Oberfläche angehäuft findet. Zu diesem Zweck bietet man das Scheibchen dem Elektroskop nicht wie bei dem vorigen Versuche dar, sondern substituirt es der unbeweglichen Kugel der Wage, und beobachtet seine Wirkung auf die bewegliche Kugel oder Scheibe, die man zuvor mit der gleichartigen El. geladen hat. Man trägt übrigens Sorge, die Intensität der Drehung und die Länge der Nadel so

einzurichten, daß das bewegliche und unbewegliche Scheidchen in dem Abstand, in dem sie sich befinden, beide als einfache Puncte betrachtet werden können, eine Bedingung, deren Erfüllung bei der Kleinheit dieser Körper keine Schwierigkeit hat. Hienach nun wird begreiflicherweise die el. Reaction des Scheibchens der Elektricitätsmenge proportional seyn, mit der es bedeckt ist; und bringt man es immer wieder in die nämliche Wage ein, ohne der beweglichen Scheibe oder Kugel etwas von der zuerst ertheilten Ladung zu entziehen, so werden die Drehungen, welche erforderlich sind, es auf den nämlichen Abstand zurückzuführen, die Verhältnisse seiner verschiednen Ladungen angeben. Da nun ein ganz kleines, an einen Körper angelegtes, Scheibchen mit einem Element seiner Oberfläche zusammenfällt, so können diese Ladungen auch nicht anders als der Ladung des, vom Scheibchen in jedem Fall berührten, Puncts der Oberfläche proportional seyn; so daß man glauben darf, hierin ein Mittel gefunden zu haben, um zu erfahren, wie die Quantität der El., oder was auf dasselbe hinauskommt, wie die Dicke der el. Schicht sich auf den verschiednen Puncten eines Körpers abändert, auf dem keine gleichmäßige Vertheilung der El. Statt hat.

Um diesen Gedanken zur Ausführung zu bringen, nehme man einen Leiter von beliebiger Gestalt; lege ihn auf ein Isolatorium; ertheile ihm einen willkührlichen Grad von El. und berühre ihn dann mit dem kleinen Prüfungsscheibchen in einem Punct a, der sich genau wieder erkennen läßt. Darauf bringe man dies Scheibchen in die Wage, deren Kugel oder Scheibe zuvor mit gleichartiger El. geladen worden ist, und beobachte die Drehung, welche erforderlich ist, der Abstoßung bis zu einem bestimmten Abstand D das Gleichgewicht zu erhalten. Diese Drehung heiße A.

Man ziehe jetzt das Scheibchen zurück, und berühre abermals den Leiter damit, an einem andern Punct a′, der vom ersten verschieden, aber eben so wohl erkennbar ist; bringe es dann in die Wage, und messe die Drehung, welche erforderlich ist, die Nadel auf den Winkelabstand D zurückzuführen, wie beim ersten Versuch. Diese Drehung sey nA; wonach ihr Verhältniß zur ersten zum Ausdruck erhält n.

Wiederholt man nach einer Zwischenzeit von einigen Minuten die nämlichen Prüfungen, indem man das Scheibchen wieder an die nämlichen Puncte a, a′ anlegt, so wird sich die absolute Größe der Drehungen vermindert zeigen, weil der isolirte Körper durch die Berührung der Luft einen Verlust an El. erlitten hat; allein das Verhältniß dieser Drehungen wird noch das nämliche wie vorhin seyn. Ist die erste Drehung A′ geworden, so wird man für die zweite nA′ ha-

ben. Soll die Vergleichung ganz genau ausfallen, so muß man zwischen der Aufeinanderfolge der Berührungen von a und von a' die nämliche Zwischenzeit verfließen lassen, als beim ersten Versuch, damit der Verlust durch die Luft sich verhältnißmäßig gleich bei beiden Versuchen bleibe.

Bei jeder Wiederholung dieser Prüfung wird man das nämliche Resultat wieder finden; dasselbe Verhältniß zwischen den Drehungen wird so lange fortbestehen, als noch eine merkliche Quantität El. auf der Oberfläche des isolirten Körpers vorhanden ist. Hat man überdies die Zeitpuncte angemerkt, in welchen man die auf einanderfolgenden Beobachtungen anstellte, so wird man die absolute Abnahme der Drehungen genau so beschaffen finden, wie die bloße Berührung der Luft mit sich bringen muß; oder, mit andern Worten, die gegenseitige Abstoßung der beiden Scheibchen in jedem Zeitpunct verhält sich ganz so, als wenn man das, an dem Gummilackfaden befindliche, mit der ursprünglichen Ladung El., die es durch die erste Berührung des Puncts a oder a' erhalten hatte, beständig in der Wage gelassen hätte. Die absolute Quantität El., welche es bei jeder Berührung an sich nimmt, ist mithin der jedesmaligen Totalsumme der El. des Körpers proportional.

Diese Proportionalität läßt sich sofort durch folgenden Versuch nachweisen.

Man gebe dem isolirten Körper die Gestalt eines Cylinders oder eines rechtwinklichen Parallelepipedums, das viel länger als dick ist; elektrisire es, und berühre es mit dem Scheibchen erst in der Mitte seiner Länge, dann an einem seiner Enden; das Scheibchen wird in diesen beiden Fällen sehr verschiedne Reactionen zeigen. Jetzt berühre man den elektrisirten Körper mit einem andern Körper von ganz gleicher Gestalt und gleichen Dimensionen, der ebenfalls isolirt ist, und zwar lege man ihn symmetrisch an den andern an, d. h. so, daß die gleichen Seiten sich in ihrer ganzen Ausdehnung decken. Die El. wird sich auf jeden Fall gleich zwischen diese beiden Körper vertheilen. Auch wird man finden, wenn man nach Trennung derselben mit dem Scheibchen wieder die nämlichen Puncte als das erstemal berührt, daß für jeden derselben die el. Reaction auf die Hälfte von dem, was sie vorher betrug, reducirt ist.

Als Resultat der angeführten Versuche ergiebt sich demnach, daß die absoluten Quantitäten El., welche das Prüfungsscheibchen successiv an einem und demselben Punct der Oberfläche eines Leiters aufnimmt, stets der, im Augenblick der Berührung auf der Oberfläche dieses Körpers verbreiteten, Totalsumme von El. proportional sind; und daß, wie groß oder wie klein auch diese Summe seyn mag, die,

im nämlichen Augenblick auf verschiednen Elementen der Oberfläche aufgenommenen, Quantitäten immer unter einander ein unveränderliches Verhältniß behaupten. Hieraus lassen sich nachstehende zwei Folgerungen ziehen: erstens, wenn in irgend einem Leiter eine doppelte, dreifache oder irgend vielfache Quantität El. angehäuft wird, so nimmt jedes Element der Oberfläche eine doppelte, dreifache oder überhaupt in demselben Verhältniß vielfache Quantität von der, die es vorher besaß, auf; zweitens, das Prüfungsscheibchen, als unendlich klein im Verhältniß zur ganzen Oberfläche des Leiters betrachtet, nimmt immer an jedem Puncte dieser Oberfläche eine Quantität El. auf, welche der des, von ihm berührten, Elements proportional ist.

Bei diesem Verfahren wird durch jede Berührung des Scheibchens die absolute Quantität der El. des berührten Körpers um etwas vermindert; und man müßte demzufolge, streng genommen, diese Verminderung in Rechnung ziehen, um eine ganz genaue Vergleichungsfähigkeit der nach einander angestellten Beobachtungen zu erhalten; jedoch kann man sich dieser Mühe überheben, wofern man nur das Scheibchen so klein macht, daß die Quantität El., welche es aufzunehmen vermag, unendlich klein und so zu sagen null im Verhältniß zu der, auf der ganzen Oberfläche des Körpers verbreiteten, ist. Glaubte man, neben dieser Vorsichtsmaßregel, immer noch etwas thun zu müssen, um den Irrthum zu schwächen, so brauchte man blos das Scheibchen auf die Oberfläche des Körpers zurückzubringen, ohne es vorher entladen zu haben. Auch hat man Sorge zu tragen, die Scheibchen an Fäden von recht reinem, möglichst vollkommen isolirenden, Gummilack zu befestigen.

Da diese Beobachtungen immer eine öftere Wiederholung verlangen, so muß man bei Vergleichung derselben den, durch die Luft verursachten, Verlust an El. in Rechnung ziehen. Dies kann geschehen, indem man die oben gefundnen Gesetze dieses Verlusts zu Grunde legt; jedoch läßt sich auch diese Correction dadurch entbehrlich machen, daß man die Versuche auf eine Art combinirt, welche ihre Berichtigung selbst mit sich führt. Zu diesem Zweck berührt man, wenn es sich um Vergleichung der el. Reactionen zweier Puncte a und b handelt, erst a mit dem Scheibchen, und beobachtet die proportionale Reaction, deren er dadurch theilhaftig wird. Darauf berührt man auch den Punct b damit, und beobachtet ebenfalls die daraus erfolgende Reaction. War nun zwischen beiden Beobachtungen eine gewisse Zeit verflossen, z. B. drei Minuten, so widerholt man die Berührung von a drei Minuten nach der zweiten Beobachtung und nimmt das arithmetische Mittel aus diesem Resultat und dem zuerst gefundnen. So wird das Ergebniß ganz das nämliche, als wenn die Berührung von

a und von b genau in demselben Zeitpunct vorgenommen worden wäre. Diese Correctionsart durch sich correspondirende Beobachtungen ist immer die beste, die man anwenden kann. Selbst der Verlust durch die Träger wird dadurch berichtigt, wofern er nicht sehr beträchtlich ist, wie sich dies bei einer guten Wahl und Zubereitungsart derselben immer annehmen läßt.

Um die Methode der abwechselnden Berührungen in einer Anwendung darzustellen, wähle ich folgenden Versuch, den ich in Coulomb's Manuscripten finde.

Er hatte sich die Untersuchung vorgesetzt, wie sich die El. auf einem dünnen und isolirten Streifen vertheilt. Zu diesem Zweck isolirte er einen Stahlstreifen von 11 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Linie Dicke. Um ihn in seiner ganzen Breite berühren zu können, gab er der Prüfungsfläche 1 Zoll Länge auf 3 Linien Breite; legte sie erst auf die Mitte des Streifens in C, Fig. 10, auf; dann in 1 Zoll Weite von seinem Ende; und erhielt so folgende Resultate:

	Beobachtete Drehungen.	Mittel aus den Drehungen bei Ber. in der Mitte.	Mittel aus den Drehungen bei Ber. 1 Zoll vom Ende.	Verhältniß der mittlern Drehungen.
Berührung in der Mitte	370°			
— — 1 Zoll vom Ende	440	360	440	1,22
— — in der Mitte	350	350	417,5	1,20
— — 1 Zoll vom Ende	395	335	395	1,18
— — in der Mitte	320			
			Mittel	1,20

d. i. nimmt man auf der Mitte des Streifens und 1 Zoll von seinem Ende in der ganzen Breite desselben gleiche Räume, so verhalten sich die, auf denselben vorhandnen, Quantitäten El. zu einander, wie 1 zu 1, 2, sind mithin beinahe gleich.

Coulomb wiederholte den Versuch so, daß er die Prüfungsfläche ganz und gar an das Ende des Streifens legte, ohne ihn jedoch über seine Oberfläche hinausragen zu lassen. Es ergaben sich folgende Resultate:

	Beobachtete Drehungen.	Mittel aus d. Drehungen bei Ber. in der Mitte.	Mittel aus d. Drehungen bei Ber. am Ende.	Verhältniß der mittlern Drehungen.
Berührung am Ende	400			
— — in der Mitte	195	195	395	2,02
— — am Ende	390	190	390	2,05
— — in der Mitte	185	185	370	2,00
— — am Ende	350			
			Mittel	2,02

Hier fällt das Verhältniß der Elektricitätsmengen weit stärker aus als bei obigen Versuchen. Von der Mitte an bis 1 Zoll von den Enden des Streifens bleibt sich sonach die El. ziemlich gleich, nimmt aber an diesen Enden in einem raschen Verhältniß zu.

Noch eine andre Prüfung stellte Coulomb an, indem er die Papierfläche nicht mehr auf die Oberfläche des Streifens selbst auflegte, sondern in die Verlängerung dieser Oberfläche nach D brachte, so daß sie mit ihrem Rande die Dicke des Streifens berührte: hiebei erhielt er folgende Resultate:

	Beobachtete Drehungen.	Mittel aus d. Drehungen b. Ber. in d. Mitte	Mittel aus d. Drehungen b. Ber. des Randes.	Verhältniß der Drehungen.
Berührung in der Mitte	305°			
— — am Rande	1175	295	1175	3,98
— — in der Mitte	285	285	1156	4,05
— über d. Rand hinaus	1137			
			Mittel	4,01

Wird also die Prüfungsfläche in der Verlängerung der Oberfläche des Streifens an diesen angesetzt, so nimmt sie gerade das Doppelte von der Quantität El. auf, die sie an diesem Ende selbst aufnahm, wenn sie blos eine einzige Oberfläche desselben berührte.

Eine Wiederholung dieses Versuchs mit einem Streifen von 22

Zoll Länge, mithin der doppelten Länge des vorigen Streifen, übrigens aber denselben Dimensionen, gab ganz die nämlichen Verhältnisse zwischen Mitte und Enden.

Hieraus zieht Coulomb die Folgerungen, 1) daß bei Berührung der Oberflächen des Streifens die Prüfungsfläche nur der El. einer seiner Flächen theilhaftig wird, der nämlichen, auf welche sie gelegt wird, 2) daß über eine gewisse Länge des Streifens hinaus, welche hinreicht, daß die El. auf einem großen Theile seiner Oberfläche fast gleichförmig sey, ein neuer Zuwachs an Länge von keinem merklichen Einfluß mehr auf das Verhältniß der an den Enden und in der Mitte angehäuften Elektricitätsmengen ist, indem sie an erstern immer doppelt so viel beträgt, als auf letztrer.

Um den Folgerungen hieraus nachzugehen, sey AB, Fig. 11, ein Streifen, dessen Länge die von uns angedeutete Gränze überschreitet. Gesetzt, wir hätten den el. Zustand der verschiednen Puncte seiner Oberfläche beobachtet, so wollen wir nun an jedem dieser Puncte Ordinaten CE, PM, QN, AA′, BB′, aufrichten, proportional den daselbst angehäuften Quantitäten El. Diese Ordinaten werden von der Mitte C an bis ein Zoll von den Enden des Streifens nicht merklich von einander unterschieden seyn, darauf aber zu wachsen anfangen, so daß sie symmetrische Curven A′M oder B′N bilden. Da nun das Verhältniß von AA′ zu PM oder zu CE in allen Streifen gleich ist, die eine sehr große Länge in Verhältniß zu ihrer Breite haben, und auch das für die zwischenliegenden Ordinaten sich gleich bleibt, so folgt, daß die Curve A′M, B′N in allen diesen Streifen die nämliche Gestalt behält, und sich nur auf die Schicht, deren gleichmäßige Dicke CE ist, an beiden Enden aufsetzt; wonach sich denn der el. Zustand aller solcher Streifen vollkommen bestimmen läßt, wenn man nur die Intensität der El. in ihrer Mitte beobachtet hat.

Diese schnelle Zunahme der El. nach den Enden zu ist den Streifen nicht eigenthümlich, sondern scheint überhaupt bei allen sehr in die Länge ausgedehnten prismatischen oder cylindrischen Körpern Statt zu haben; und zwar in einer um so raschern Progression, je dünner dieselben sind. Beweisend hiefür sind mehrere andre Versuche Coulombs, die ich in meinem größern Werke mit dazu gehöriger Berechnung angeführt habe.

Die Neigung der El., sich nach der Oberfläche der Leiter zu begeben, und die Art, wie sie sich auf dieser Oberfläche verbreitet, lassen sich durch einen sehr interessanten Versuch ins Licht setzen. AB, Fig. 12, ist ein isolirter Cylinder, der sich mittelst der, aus mehrern gefirnißten Glasstangen zusammengesetzten, Kurbel M um eine horizontale Axe drehen läßt. Um den Cylinder ist ein metallnes Band R

gewickelt, das sich halbkreisförmig endigt, und an welches eine seidene Schnur F befestigt ist. Man setzt diesen Apparat mit einem Elektroskop in Verbindung, das aus zwei, mit kleinen Hollundermarkkugeln versehenen, Leinfäden ff besteht, und elektrisirt ihn. Sogleich divergiren die Fäden ff. Darauf rollt man das Metallband allmälig ab, indem man es an dem isolirenden Faden F zieht und in der Luft schwebend erhält. In dem Maße, als es in einer größern Fläche abgerollt wird, sieht man die Leinfäden sich nähern und somit eine progressive Abnahme ihrer Reaction zu erkennen geben. Ist das Band im Verhältniß zur el. Ladung, die man dem Apparat gegeben hat, lang genug, so mindert sich ihre Divergenz so, daß sie fast unmerklich wird, tritt aber wieder hervor, wenn man durch Umdrehung der Kurbel M das Metallband aufs Neue um seinen Cylinder wickelt; und die Reaction der Fäden zeigt sich dann wieder eben so stark, als zu Anfange des Versuchs, abgerechnet den Verlust, den die Berührung der Luft bewirken mußte.

Fünftes Capitel.

Von den gebundenen Elektricitäten, und ihrer Trennung durch Wirkung aus der Ferne.

Bisher haben wir blos Körper betrachtet, die durch Reiben oder durch Mittheilung el. wurden. Jetzt werden sich uns Erscheinungen darbieten, wo der el. Zustand ohne Berührung blos durch Wirkung eines elektrisirten Körpers aus der Ferne hervorgebracht wird. (Man nennt dies das Elektrisiren durch Vertheilung (developpement de l'électricité par influence); und sagt von zwei Körpern, die in solche Nähe zu einander gebracht sind, daß sie vertheilend auf einander einwirken können, der eine sey in die el. Wirkungssphäre oder den el. Wirkungskreis des andern gebracht.) Die nähern Aufschlüsse hierüber werden sich aus Folgendem ergeben.

Man befestige an einem cylindrischen, horizontal von Isolirfüßen getragenen, Leiter B, Fig. 13, der an beiden Enden halbkugelförmig zugerundet ist, von Stelle zu Stelle Leinfäden, an denen kleine Hollundermarkkugeln herabhängen, rühre ihn mit dem Finger an, um sicher zu seyn, daß er frei von Elektricität ist, fasse ihn an seinen Isolirfüßen und nähere ihn so einem elektrisirten Körper A, doch nicht bis auf solche Weite, daß von diesem unmittelbar durch einen Entladungsschlag El. zu ihm überspringen könnte. Man wird dann folgende Erscheinungen wahrnehmen:

1) Die, an den Enden des Cylinders B befindlichen Fäden divergiren, und zeigen somit an, daß er el. geworden ist.
2) Diese Divergenz nimmt nach der Mitte des Cylinders zu ab, wo sich ein Punct findet, an welchem gar keine Abstoßung mehr zwischen den Kugeln Statt findet.
3) Die Lage dieses Puncts, welcher unelektrisch scheint, ändert sich, je nach der größern oder geringern Weite, in die man den Cylinder vom elektrisirten Körper bringt.
4) Führt man längs des Cylinders eine unelektrische und an einem isolirenden Seidenfaden schwebende Hollundermarkkugel hin, so wird sie allenthalben angezogen, ausgenommen an dem erwähnten mittlern Theil.
5) Ist aber diese Kugel elektrisirt, so wird sie von einem Ende des Cylinders angezogen, vom andern abgestoßen, welches anzeigt, daß beide Enden mit verschiedner El. geladen sind.
6) Wirklich, wenn man beide Enden nach einander mit einem kleinen isolirten leitenden Körper berührt, und die El. prüft, mit der er sich hiebei ladet, findet man, daß sie in dem, dem elektrisirten Körper zunächst befindlichen, Theile von der, der seinigen entgegengesetzten, Beschaffenheit ist; dagegen in dem davon entferntesten Theile von der gleichartigen Beschaffenheit.
7) Die Zeichen von El. verschwinden, wenn man den Cylinder an seinen Isolirfüßen in eine große Weite vom elektrisirten Körper A zurückzieht; oder durch Berührung letzterm die El. raubt.
8) Mit Ausnahme des letztern Falles verliert der ursprünglich elektrisirte Körper Nichts durch den Einfluß, den er auf den Cylinder äußert. Kein Theil seiner El. geht in den Cylinder über; denn mißt man seine el. Reaction durch das Prüfungsscheibchen, bevor man ihn dem Cylinder genähert und nachdem man ihn wieder davon zurückgezogen hat, so findet man, daß er keinen Verlust erfahren hat, abgerechnet, den die Berührung der Luft nothwendig mit sich bringt.
9) Diese Beständigkeit der el. Reaction findet jedoch nur außerhalb des Wirkungskreises des isolirten Cylinders Statt. Denn ist der elektrische Körper ein Leiter, so zeigt sich die el Reaction auf seiner Oberfläche anders, so lange sich der Cylinder in seiner Nähe befindet, wie man sich durch das Prüfungsscheibchen überzeugen kann.
10) Wenn man, ohne den elektrisirten Körper zu berühren, den Cylinder zu wiederholten Malen außerhalb und innerhalb seines Wirkungskreises versetzt, so verschwinden und treten die nämli-

chen Erscheinungen eben so oft hervor, ohne irgend eine Veränderung zu erfahren.

Aus der bloßen Darlegung dieser Resultate ergeben sich nachstehende Folgerungen: 1) Weil der Cylinder dem elektrisirten Körper Nichts raubt, so muß dieser in sich selbst die Principe beider Elektricitäten besitzen, die unter dem Einfluß dieses Körpers hervortreten. 2) Weil diese beiden El. verschwinden, wenn der Cylinder aus der Wirkungssphäre des elektrisirten Körpers gebracht ist, obwohl sie wegen Isolirung des Cylinders nicht in den Boden entweichen können, so muß ihr Verhältniß zu einander ein solches seyn, daß sie, sich selbst überlassen, sich wechselseitig zu neutralisiren vermögen; 3) endlich, kann diese Neutralisation keine Vernichtung der Elektricitäten zur Folge haben, weil sie jedesmal in ihrer ersten Stärke hervortreten, wenn man den Cylinder wieder in die Wirkungssphäre des fremden elektrisirten Körpers bringt.

So sehen wir uns denn zu dem Schlusse geführt, daß die Principe beider El. von Natur in allen Leitern in einem Zustande von Verbindung, der ihre Neutralisation bedingt, vorhanden sind. Dies ist, was wir künftig natürlichen Zustand der Körper nennen werden. Wir sehen, daß die Reibung, welche uns ein Mittel zur Erzeugung der Elektricitäten schien, blos dient, sie aus diesem Zustande, bei dem sie sich wechselseitig neutralisiren, frei zu machen und, durch Scheidung von einander, jede besonders zur Wahrnehmung zu bringen. Hierin liegt unstreitig der Grund, warum wir am Reibzeug und dem geriebenen Körper stets entgegengesetzte Elektricitäten hervortreten sehen. Weil endlich der bloße Einfluß eines elektrisirten Körpers in die Ferne beide El. nöthigt, sich zu trennen und so zu vertheilen, daß die verschiedenartigen Elektricitäten einander zunächst, die gleichartigen von einander am entferntesten befindlich sind, so muß man, um diese Thatsache durch ein Gesetz auszusprechen, annehmen, daß die ungleichnamigen El. sich anziehen, die gleichnamigen dagegen abstoßen, Gesetzen zu Folge, welche uns die Erfahrung vielleicht weiterhin wird kennen lehren.

Nun lassen alle eben beschriebenen Erscheinungen eine einfache, folgerechte, einleuchtende Ableitung aus dieser allgemeinen Eigenschaft zu. Eine einzige darunter scheint vielleicht nur mit einiger Umständlichkeit darauf zurückgeführt werden zu können; nämlich die vorübergehende Veränderung, welche die el. Reaction des Körpers A zeigt, während er sich im Wirkungskreise des Cylinders befindet. Da nun aber die freie El. auf der Oberfläche eines Körpers durch Vertheilung in die Ferne auf die natürlichen Elektricitäten der andern, in ihrem Wirkungskreise befindlichen, Körper, wirkt, und ihre Verbindung, zum

Theil wenigstens, aufhebt, so ist klar, daß diese, einmal frei geworden, für ihr Theil wieder auf den Körper, der sie frei gemacht hat, zurückwirken, und die el. Reaction der Puncte seiner Oberfläche verändern müssen; sey es, indem sie die, daselbst befindliche, freie El. nöthigen, sich anders zu vertheilen, oder auch, indem sie zu dieser El. diejenige hinzutreten lassen, welche der Körper durch Zersetzung seiner natürlichen Elektricitäten hergeben kann, oder endlich, indem sie auf beide Arten zugleich wirken.

Diese Beobachtungen führen uns zu einer andern wichtigen Folgerung. Bei unsern ersten Versuchen bemerkten wir, daß die elektrisirten Körper alle, ihnen dargebotenen, leichten Körper anziehen oder anzuziehen scheinen, ohne daß letztere durch Reibung oder Mittheilung schon vorher elektrisirt zu seyn brauchen. Jetzt aber müssen wir unsre Vorstellung dahin abändern, daß die kleinen Körper schon von selbst durch die vertheilende Wirkung, die der elektrisirte Körper, in dessen Wirkungssphäre sie gebracht werden, auf sie ausübt, el. geworden sind, bevor sie angezogen werden; so daß auch in diesem Fall die, scheinbare oder wahre, Anziehung, welche man beobachtet, nur zwischen elektrisirten Körpern Statt hat.

Noch mehr: das Hervortreten der Elektricitäten aus ihrem gebundenen Zustande ist in diesem Fall selbst eine unerläßliche Bedingung, daß Anziehung Statt habe; denn diese geht um so minder lebhaft vor sich, je schwerer die Trennung geschieht, und findet gar nicht mehr Statt, wenn diese ganz gehemmt ist. Dies zu erweisen, hänge man an zwei ganz feinen und gleich langen Fäden von roher Seide zwei kleine Kugeln von gleichen Dimensionen auf, deren eine aus reinem, die andre aus übergoldetem oder mit dünnem Stanniol belegten Gummilack besteht, lasse beide Pendel nahe an einander herabhängen, und nähere ihnen eine durch Reiben elektrisirte Glas- oder Siegellackstange. Man wird finden, daß die mit Metall bekleidete Kugel, auf deren Oberfläche die Zersetzung der natürlichen Elektricitäten leicht vor sich gehen kann, weit leichter und lebhafter angezogen wird, als die andre. Diese fängt erst nach einiger Zeit an, angezogen zu werden, wenn endlich die Zersetzung auf ihrer Oberfläche zu Stande gekommen ist; und dann verharrt sie in ihrem el. Zustande selbst noch nach Entfernung des ursprünglich elektrisirten Körpers. Die erste Kugel, obwohl vergoldet, erlangt gleichfalls hiedurch eine andauernde El., weil das Harz, aus welchem sie besteht, sich mit der, auf ihrer Oberfläche entwickelten, El. schwängert. Beide werden hierin durch die Mitwirkung der Luft begünstigt, die ihnen vorzüglich diejenige ihrer, aus dem natürlichen Zustande hervorgetretenen, Elektricitäten zu entziehen strebt, welche durch die vertheilende Wirkung des elektrisirten Körpers

zurückgetrieben wird, während sie weniger Gewalt über die andre hat, deren innwohnende Repulsivkraft nicht so frei hervortreten kann, weil die sie anziehende El. vom gegenüberstehenden Körper bindend auf sie einwirkt. Auch bemerkt man im Allgemeinen, daß die isolirten Körper, welche eine Zeitlang in der Wirkungssphäre eines elektrisirten Körpers gewesen sind, endlich einen Ueberschuß von der, der seinigen entgegengesetzten, El. erhalten, deren Wirkungen sich offenbaren, wenn man sie aus dieser Sphäre entfernt.

Da wir auf die hier gefundnen Resultate in der Folge immer wieder werden zurückkommen müssen, so wollen wir sie in eine Art Lehrsatz zusammenfassen, den wir folgendermaßen aussprechen.

Wenn ein isolirter Leiter B, der sich im natürlichen Zustande befindet, in die Wirkungssphäre eines andern elektrisirten und isolirten Körpers A gebracht wird, so wirkt die, auf der Oberfläche von A verbreitete, El. vertheilend auf die beiden neutralisirten El. von B, zersetzt davon eine, der Intensität ihrer Wirkung proportionale, Quantität und löst sie in ihre beiden Grundbestandtheile auf. Von diesen beiden freigewordenen El. stößt sie die ihr gleichnamige zurück, und zieht die ungleichnamige an. Erstre begiebt sich nach dem Theil der Oberfläche von B, der von A am entlegensten ist, letztere nach dem, der A am nächsten ist. Da diese (die der El. in A entgegengesetzte) nun A nahe kommt, so wirkt sie für ihr Theil auf die El. darin, und bewirkt, dieselbe anziehend, daß sie sich von allen Stellen der Oberfläche A's nach dem B zunächst befindlichen Ende hinbegiebt. Durch diese Näherung wird nun wieder der El. in A vertheilender Einfluß auf B verstärkt und es erfolgt eine neue Zersetzung der darin noch neutralisirt befindlichen Elektricitäten, die sich abermals nach den entgegengesetzten Enden von B begeben; hierdurch wird wieder B's Einfluß auf A verstärkt, und es erfolgt jetzt (oder selbst schon bei der ersten Reaction von B auf A) selbst eine Zersetzung von dessen in Neutralisation befindlichen Elektricitäten, u. s. f. bis die, auf beiden Körpern frei gewordnen Quantitäten jedes Prinzips ein solches Verhältniß zu einander angenommen haben, daß die anziehenden und abstoßenden Kräfte, die sie vemöge ihrer gleichartigen oder ungleichartigen Beschaffenheit auf einander ausüben, einander im Gleichgewicht aufwiegen.

Weiterhin werden wir untersuchen, von welchen Bedingungen dieses Gleichgewicht abhängt. Für jetzt wollen wir es als eingetreten annehmen, und, um in der Beobachtung der weiter daraus sich entwickelnden Erscheinungen fortzuschreiten, die nämliche Anordnung des Apparats, deren wir uns zuerst bedienten, und welcher in Fig. 14 vorgestellt ist, wieder vornehmen. Um ferner die Thatsachen auf kürzere Ausdrücke zu bringen, nehmen wir die El., womit A ursprünglich

geladen worden ist, ein für allemal für positiv an. Ist nun der Leiter B cylindrisch, was wir deshalb voraussetzen, weil in diesem Fall die Trennung der verbundnen Elektricitäten augenscheinlicher wird, so zeigt sich sein, dem Körper A nächster, Theil N negativ, sein entferntester Theil P positiv el.

Unter diesen Umständen berühre man letztern Theil P mit einem dritten Leiter C, der gleichfalls isolirt ist und sich im natürlichen Zustande befindet. Wieder zurückgezogen wird er sich mit positiver El. geladen zeigen. Zugleich nähern sich die, in P an den Leiter B angebrachten, Leinfäden, dagegen nimmt die Divergenz der in N befindlichen zu. Entfernt man nun, nach jener Berührung, B aus dem Wirkungskreise von A, oder berührt man A, um ihm seine El. zu rauben, so findet man B blos mit negativer El. geladen.

Dies ist eine ganz einfache Folgerung aus der Art, wie die Elektrisirung durch Vertheilung geschieht. Vor der Berührung mit C wirkte die, nach P zurückgetriebene, positive El. B's abstoßend auf die gleichnamige El. A's, anziehend auf die negative El. welche sich in N befand; schwächte mithin die Wirkung von A auf N durch eine Wirkung entgegengesetzter Art. Durch die Berührung mit dem dritten Leiter C wird P ein Theil dieser positiven El. entzogen; und die Wirkung von A auf N tritt nun stärker hervor, weil ihr nicht mehr von P aus so bedeutend entgegengewirkt wird. Vermöge ihrer verstärkten Wirksamkeit bringt sie im Leiter B eine neue Zersetzung verbundener El. hervor, deren positiver Theil sich abermals nach P, der negative nach N begiebt. Nothwendig nun muß die Totalsumme negativer, in N angehäufter, El. mehr betragen, als die Summe positiver, welche sich in P befindet, weil diese allein durch die Berührung mit C einen Verlust erlitten hat. Auch reicht, wenn man B aus dem Wirkungskreise von A entfernt, diese, nun freigewordne, positive El. in P nicht aus, die negative El. in N vollkommen zu neutralisiren, und so findet sich der Leiter B mit einem Ueberschuß negativer El. geladen. Die nämliche Ungleichheit muß dann auch zur Folge haben, daß unter dem Einflusse von A die Divergenz der Fäden schwächer bei P als bei N ist, wie die Beobachtung bestätigt.

Will man diesen Unterschied aufs Aeußerste treiben, so berühre man nicht, wie vorhin, den Leiter B mit einem isolirten Leiter, der ihm immer nur einen Theil der El. P entzieht, sondern mit einem unisolirten Leiter, so daß er auf einen Augenblick mit dem Boden in leitende Verbindung kommt. Dann wird alle, nach P zurückgetriebene, El. entweichen. Die, an dieser Stelle befindlichen, Fäden werden ganz zusammenfallen, und keine Spur von El. mehr anzeigen; die in N angebrachten Fäden dagegen werden eine noch größere Diver-

genz als im vorigen Fall erlangen, die sich auch durch eine abermalige Berührung des Endes P nicht mindern wird. Noch sehr zunehmen aber wird sie, wenn man, nach aufgehobener Berührung von P, den Leiter B aus der Wirkungssphäre von A entfernt.

Auch hievon ist der Grund leicht einzusehen: wenn man P mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, so fließt alle, in diesem Ende angehäufte, positive El. in die ungeheure Erdmasse ab, wodurch seine Reaction unmerklich wird; oder, nach einer andern Vorstellungsart, die El. in P zersetzt die neutralisirten Elektricitäten der Erde, zieht ihre negative an und neutralisirt sich damit, stößt dagegen die positive ab, die sich nun durch die ganze Erdmasse vertheilt. Wie man sich auch die Sache vorstellen mag, auf keinen Fall wird freie El. in P zurückbleiben können. Die positive El. in A nun, eines solchen Widerstands erledigt, übt jetzt eine stärkere Anziehung auf N aus. Die nothwendige Folge hievon ist eine neue Zersetzung der natürlichen El. von B, deren positiver Theil wiederum in den Boden entweicht, während der negative sich in N anhäuft; und so fort, bis die Anziehungskraft von A gegen N vollkommen gesättigt ist. Diese Zersetzungen aber, die wir hier als nach einander folgend dargestellt haben, um eine klarere Einsicht in ihren Vorgang zu gewähren, gehen in den Metallkörpern, deren Leitungsvermögen sich als vollkommen ansehen läßt, in einem Augenblick vor sich; weshalb auch eine einzige Berührung hinreicht, sie vollkommen ins Werk zu setzen. Von selbst ergiebt sich aus den vorstehenden Erörterungen, warum B, aus der Wirkungssphäre von A entfernt, einen Ueberschuß von negativer El. zeigt, und warum dieser noch bedeutender ist, als im vorigen Fall.

Bisher haben wir uns begnügt, die Wirkung von A auf B durch Versuche zum Augenschein zu bringen; aber auch die Gegenwirkung von B auf A läßt sich wahrnehmbar machen, indem man entweder A an verschiednen Stellen seiner Oberfläche mit dem Prüfungsscheibchen berührt, welches die genaueste Verfahrungsart seyn würde, oder auch, indem man blos an das, von B entfernteste, Ende A's Leinfäden mit kleinen Hollundermarkkugeln aufhängt. Man beobachtet zuerst die Divergenz dieser Kugeln, wenn A isolirt und B noch nicht in seiner Wirkungssphäre ist. In dem Maße nun, als man den Leiter B nähert, und eine Zersetzung der natürlichen Elektricitäten darin vorgeht, sieht man die Divergenz der Leinfäden von A sich immer mehr mindern, weil die, in diesem Theile von A befindliche, positive El. denselben verläßt, um sich nach dem, B zunächst befindlichen, Theile zu begeben. Geht sie ganz dorthin über, so sieht man die Leinfäden völlig zu ihrer verticalen Lage zurückkehren, als wenn der Körper A sich im natürlichen Zustande befände, endlich tritt in diesem Ende, wegen

der immer zunehmenden Wirkung von N, negative El. hervor; und die Fäden divergiren abermals, aber vermöge der entgegengesetzten El.

Diese Aufeinanderfolge von Divergenzen, welche durch entgegengesetzte Elektricitäten bedingt werden, und zwischen denen ein natürlicher Zustand mitten inne liegt, läßt sich noch leichter am Leiter B beobachten, wenn man ihm, anstatt ihn im natürlichen Zustande in die Wirkungssphäre von A zu bringen, erst einen schwachen Grad negativer El. mittheilt. So lange er sich nämlich in diesem Falle noch außer der Wirkungssphäre von A befindet, werden alle, daran aufgehangene, Leinfäden vermöge dieser El. divergiren. So wie er sich aber A nähert, und durch dessen Wirkung diese negative El. nach dem, A nächsten, Ende hingezogen wird, werden die Leinfäden am andern Ende sich allmälig nähern, dann ganz zusammenfallen, endlich wieder divergiren vermöge der positiven El., welche die Wirkung von A aus der Verbindung hervortreten läßt, in der sie sich im natürlichen Zustand befand, und welche nach diesem Theile des Leiters B zurückgetrieben wird.

Um von einer festen Vorstellung auszugehen, haben wir A als mit positiver El. geladen angenommen. Wenn man ihn jedoch mit negativer El. geladen hätte, so würden sich alle Erscheinungen noch ganz auf die beschriebene Weise verhalten, blos mit dem Unterschiede, daß bei Darstellung derselben die Benennungen beider Elektricitäten überall zu vertauschen wären.

Nachdem wir so im Allgemeinen die anziehenden und abstoßenden Eigenschaften, welche beiden El., der positiven und negativen, eigenthümlich sind, so wie den natürlichen Zustand, in dem sie sich in den Körpern neutralisirt befinden, ihre Trennung durch vertheilende Wirkung aus der Ferne, und die allgemeinen Folgerungen, welche sich aus diesen neuen Eigenschaften ergeben, erforscht haben, müssen wir, zufolge der, im Laufe dieses Werks angenommenen, Methode sie der Berechnung zu unterwerfen suchen, um die einzelnen Umstände der Erscheinungen genau bestimmen, und z. B. für jeden der, in die wechselseitige Wirkungssphäre gebrachten, Körper voraussagen zu können, welches die Quantität und Beschaffenheit der El. auf einem jeden Punct seiner Oberfläche sey.

Da wir uns jedoch überzeugt haben, daß diese Wechselwirkungen, wie sie sich unsrer Beobachtung ergeben haben, nur zwischen den el. Principen selbst vor sich gehen, so werden wie begreiflich nur insofern hinsichtlich derselben auf den Grund dringen können, als wir die Natur und Wirkungsart dieser Principe ausmitteln; oder was für uns auf dasselbe hinauskommt, als wir auf die beobachteten Erscheinungen die Vorstellung irgend einer Wirkungsart gründen, die sich der Be-

rechnung unterwerfen läßt, genau zu denselben Erscheinungen führt, und sich, wo nicht unmittelbar in ihrer physischen Existenz, wenigstens indirect, aber sicher, in ihren Folgerungen als gegründet nachweisen läßt.

Erwägt man nun die außerordentliche Leichtigkeit, mit welcher beide Elektricitäten, positive und negative, sich in den Leitern verbreiten und an ihre Oberfläche begeben, wo sie durch den Luftdruck zurückgehalten werden; erwägt man ferner die vollkommene Beweglichkeit, mit welcher diese beiden Principe sich einander nähern oder von einander entfernen, sich verbinden oder scheiden, ohne etwas von ihren ursprünglichen Eigenschaften zu verlieren, so wird man sich am meisten zu der Vorstellung hingezogen fühlen, daß es Fluida sind, denen die Eigenschaft des Flüssigseyns im höchsten Grade zukommt, deren Molecule mit anziehenden und abstoßenden Eigenschaften begabt sind, und die sich in den Körpern, in denen ihnen eine freie Bewegung gestattet ist, so vertheilen, daß sie vermöge aller äußern oder innern, auf sie wirkenden, Kräfte im Gleichgewicht sind.

Es ist leicht einzusehen, daß jeder dieser Flüssigkeiten eine Ursach der Abstoßung eigenthümlich inwohnen muß, welche ihre Theilchen von einander zu entfernen strebt. Denn gesetzt, eine gewisse Quantität positiver oder negativer El. werde in eine Metallkugel gebracht, in der ihrer Bewegung kein Hinderniß entgegensteht, so wird sie sich, wie wir wissen, ganz nach der Oberfläche begeben, und daselbst eine Schicht von unmerklicher Dicke bilden. Bei Vergrößerung des Durchmessers der Kugel entfernt sich die el. Schicht immer mehr von ihrem Mittelpuncte; und hebt man den Luftdruck ganz und gar auf, so zerstreut sich die El. völlig. Diese Erscheinungen deuten sicher auf eine abstoßende Wirkung, welche die gleichartig el. Theilchen auf einander ausüben; und eben so sprechen alle Erscheinungen, bei welchen die beiden verbundnen El. von einander durch vertheilende Wirkung geschieden werden, aufs deutlichste für dieses Resultat, so wie sie zugleich das Vorhandenseyn einer wechselseitigen Anziehung zwischen den ungleichartigen El. zu erkennen geben. Die nämlichen Versuche aber, die wir so eben als Belege für die wechselseitige Abstoßung der gleichartig el. Theilchen anführten, entdecken uns noch ein andres physisches Merkmal von ausnehmender Wichtigkeit: nämlich, wenn man die el. Principe als Flüssigkeiten betrachtet, so muß man sie zugleich als unzusammendrückbar annehmen. Denn wären sie zusammendrückbar, wie z. B. die Luft, so würde zwar bei ihrer Verbreitung in einem Leiter, allein schon vermöge ihrer eigenthümlichen Abstoßungskraft, sich die größte Menge derselben nach der äußern Oberfläche begeben, und dort durch die Abstoßung der innern Schichten verdichtet werden,

so daß sich die Dichtigkeit von dieser Oberfläche nach dem Innern des Körpers zu allmälig mindern mußte; allein so verdünnt man sich immer die innern Schichten denken möchte, so könnten sie doch nie ganz aufhören vorhanden zu seyn; und so müßte man immer El. im Innern des Körpers in mehr oder minder beträchtlicher Quantität finden, da sich doch selbst durch die feinsten Prüfungsmittel keine Spur davon dort entdecken läßt. Um also dies Resultat mit der Grundbeschaffenheit der el. Principe zu vereinigen, muß man dieselben als nicht merklich zusammendrückbar annehmen; woraus folgt, daß, wenn ungleiche Quantitäten El. nach einander in einen und denselben Leiter gebracht werden, ihre Wirkung, wenn sie sich darin verbreiten und nach seiner Oberfläche begeben, keine andre ist, als der, an dieser Oberfläche gefesselten el. Schicht verschiedne Dicken zu geben, die jedoch an sich immer unendlich klein sind, wenigstens bei den, von uns zu bewerkstelligenden, el. Ladungen.

Die nämlichen Erscheinungen geben uns ferner noch zu erkennen, daß diese Anziehungen und Abstoßungen sich mit der Zunahme der Entfernung mindern; aber nach welchem Gesetz wohl? Unter allen, deren Anwendbarkeit man in diesem Bezug prüfen kann, ist eines, nach welchem alle Erscheinungen sich aufs Vollkommenste darstellen und wieder hervorbringen lassen; das Gesetz nämlich, welchem zufolge jene Schwächung das umgekehrte Verhältniß des Quadrats der Entfernung befolgt. Bei Annahme desselben lassen sich die Grundbeschaffenheiten der beiden el. Principe in folgendem allgemeinen Satze zusammenfassen: Jedes der beiden el. Principe ist ein unzusammendrückbares Fluidum, dessen vollkommen bewegliche Theilchen sich wechselseitig abstoßen, dagegen die des andern Fluidums anziehen, mit einer Kraft, welche dem Quadrat des Abstands umgekehrt proportional ist. Ferner, bei gleichem Abstand ist das Vermögen der Anziehung dem Vermögen der Abstoßung gleich. Eine solche Gleichheit ist wesentliche Bedingung, damit in einem Körper, der sich im natürlichen Zustande befindet, die beiden verbundnen El. keine Wirkung in die Ferne ausüben.

Auch durch Versuche läßt sich die Bestätigung dafür finden. Man verschaffe sich zwei Scheiben von dünnem Glase AB, A′B′, Fig. 15, mit recht ebenen Oberflächen und von ungefähr einem Decimeter im Durchmesser; Spiegelglas wird sehr passend dazu seyn. An jede dieser Scheiben befestige man einen Handgriff CM von Glas, Siegellack oder sonst einer isolirenden Substanz. Auch sorge man für ein recht empfindliches Pendel, bestehend aus einer linsengroßen, an einem einfachen Coconfaden aufgehangenen, Hollundermarkkugel. Nun reibe

man beide Scheiben aneinander, indem man sie an den isolirenden Handgriffen faßt, und biete sie ungetrennt dem el. Pendel dar; man wird finden, daß sie keine Anziehung darauf äußern; trennt man sie dagegen, und bietet ihm jede besonders dar, so ziehen sie es beide an. Sie haben sich also durch Reibung wechselseitig elektrisirt; ja sogar die eine Scheibe ist positiv, die andere negativ el. geworden, wie sich darthun läßt, indem man jede besonders einem zweiten, recht empfindlichen, mit einer bekannten El. geladenen, Pendel hinhält. Diese Elektricitäten äußern sich aber nicht wirksam, so lange die Scheiben in Berührung mit einander sind; denn da sie auf den beiden, sich berührenden, Oberflächen ihren Sitz haben, so ist der Abstand sämmtlicher beiderseitigen Puncte vom Pendel ganz der nämliche, und die entgegengesetzten Wirkungen, die sie auf die Trennung der verbundnen Elektricitäten der kleinen Kugel ausüben, sind mithin gleich, so daß der Erfolg derselben Null seyn muß. Man kann diesen Versuch selbst so abändern, daß die Ausgleichung der Wirkungen allmälig erfolgt. Zu diesem Zweck biete man die geriebene Oberfläche einer der getrennten Scheiben dem Pendel dar, und lasse dasselbe sich bis zur Berührung nähern. So wie es sich von dieser Oberfläche die ganz geringe Quantität El. angeeignet hat, die es bei seinem Volumen aufzunehmen vermag, wird es abgestoßen und entfernt sich. Man erhalte es in diesem Zustande der Abstoßung, in dem man ihm die andre Fläche der Scheibe darbietet, wie Fig. 16 zeigt; denn die El. wird noch eben so gut auf dasselbe durch die Dicke des Glases AB hindurchwirken. Darauf nähere man allmälig die zweite Scheibe der ersten, als wollte man ihre elektrisirten Flächen wieder in Berührung mit einander bringen. In dem Maße, als der Abstand zwischen diesen Flächen abnimmt, wird man die Abstoßung sich mindern, und das kleine Pendel sich immer mehr nach der Verticale senken sehen; und wenn endlich beide Flächen bis zur Berührung gelangt sind, wird das System beider Scheiben nicht mehr Wirkung auf das kleine Pendel ausüben, als jeder andre, in natürlichem Zustande befindliche, Körper; aber durch Trennung derselben wird das Pendel wieder zum Steigen gebracht werden. Beide, durch ihre Berührung so neutralisirte, Elektricitäten geben uns die natürlichste Vorstellung von den verbundnen Elektricitäten, mit dem Unterschiede, daß diese in den Leitern nur durch die Kraft ihrer Verbindung zusammengehalten werden, und sich durch vertheilende Wirkung einer freigewordnen El. aus der Ferne trennen lassen; dagegen in unsern Scheiben jede der Elektricitäten durch den Widerstand zurückgehalten wird, welchen die nicht leitende Eigenschaft des Glases der Freiheit ihrer Bewegungen entgegensetzt. Deshalb würde der beschriebene Versuch eben so wohl mit Scheiben aus Gum-

milack oder Siegellack oder auch mit einer Scheibe aus einem solchen Stoff und einer Metallscheibe gelingen; keineswegs aber mit zwei Scheiben aus Metall oder überhaupt einem leitenden Stoffe; denn da sich hier kein Widerstand der Bewegung der, durch das Reiben entbundenen, Elektricitäten entgegensetzte, so würden sie, so wie das Reiben aufgehört hätte, wieder zusammentreten und ihre vorige Verbindung eingehen.

Nachdem solchergestalt die Charactere und die Wirkungsart der beiden el. Fluida auf klare Bestimmungen gebracht sind, muß den mathematischen Folgerungen daraus nachgegangen werden, um sie mit den Erscheinungen zu vergleichen, und zu sehen, ob sie vollkommen damit in Uebereinstimmung sind. Insbesondre sind solche Resultate aufzusuchen, die einer genauen und in Zahlwerthen auszudrückenden Schätzung fähig sind, und daher eine größere Schärfe in ihrer Bewährung zulassen. Allein nur durch höhere Rechnungsarten, mit Zuziehung aller Hülfsmittel der Analyse, kann man dazu gelangen; und selbst mit diesen Mitteln hat man nur erst seit kurzer Zeit vermocht, sie auf allgemeine und genaue Weise festzustellen; was durch Poisson geschehen ist. Aus seiner Arbeit werden wir demnach die genauen Resultate schöpfen, die der Calcul ihn finden ließ; wir entlehnen sie daraus, als strenge Folgerungen aus unsern ersten Bestimmungen; und es wird dann blos noch erforderlich seyn, sie auch in der Erfahrung bewährt nachzuweisen.

Betrachten wir zuvörderst einen einzigen isolirten Leiter, der mit einem Ueberschuß positiver oder negativer El. geladen und jedem fremden Einfluß entzogen ist.

Der Calcul giebt an, daß das, in diesen Körper gebrachte, Fluidum sich ganz auf seine Oberfläche begeben und daselbst eine außerordentlich dünne Schicht bilden wird. Dies findet sich durch Beobachtungen bestätigt, die mit der allergrößten Sorgfalt und Genauigkeit angestellt worden sind.

Der Calcul bestimmt auch die innere Oberfläche dieser Schicht und ihre (relative) Dicke. Die äußere, von der Luft begränzte, Oberfläche ist die nämliche, als die des Körpers. Die Luft verhält sich in diesem Fall für die freie El. wie ein undurchdringliches Gefäß von gegebener Gestalt, welches dieselbe in ihrem Innenraum enthält, und durch seinen Druck ihrem Streben zur Ausdehnung widersteht. Die innere Oberfläche ist wegen der geringen Dicke der ganzen el. Schicht von der äußern immer nur sehr wenig unterschieden. Damit aber der Körper in einem bleibenden el. Zustand verharre, muß die Gestalt dieser Oberfläche so beschaffen seyn, daß die ganze Schicht weder Anziehung noch Abstoßung auf die, in ihrer Höhlung befindlichen, Puncte

äußere; denn, wären diese Wirkungen nicht null, so würden sie gegen die verbundnen Elektricitäten des Körpers in Wirksamkeit treten, einen Theil davon zersetzen und der el. Zustand des Körpers würde sich mithin ändern, was in Widerspruch mit der Voraussetzung seines Beharrens wäre. Die Analyse bestimmt nach dieser Bedingung, von welcher das Beharren abhängt, die Gestalt und Dicke der Schicht, welche im Allgemeinen an den verschiednen Theilen der Oberfläche des elektrisirten Körpers verschieden seyn kann, ja seyn muß. Hat z. B. der Körper die Gestalt einer Kugel, so werden auch die beiden Oberflächen der el. Schicht kugelförmig seyn, und ihren Mittelpunct im Mittelpunct des Körpers haben. Die Dicke der Schicht wird daher allenthalben dieselbe, und dem Unterschiede der Halbmesser beider Oberflächen gleich seyn. In der That ergiebt sich aus dem Gesetze des Quadrats der Entfernungen, daß eine solche Schicht keine Wirkung auf die, in ihrem Innenraum befindlichen, Puncte äußert.

Ist das, in Betracht gezogene, Sphäroid ein Ellipsoid, so wird die innere Oberfläche der el. Schicht ein, diesem concentrisches und ähnliches, Ellipsoid seyn; denn es läßt sich darthun, daß eine elliptische Schicht, deren Oberflächen auf diese Weise concentrisch und ähnlich sind, keine Wirkung auf einen, in ihrem Innern gelegenen, Punct äußert. Die Dicke der Schicht an jedem ihrer Puncte ist allgemein durch diese Construction gegeben; es geht aus ihr hervor, daß die Schicht am dicksten an der Spitze der großen Axe ist, am dünnsten an der Spitze der kleinen; und zwar verhalten sich die Dicken an den Spitzen dieser zwei verschiednen Axen zu einander, wie die Längen der Axen selbst.

In jedem Fall ist die äußere Oberfläche der flüssigen Schicht durch die Oberfläche des Körpers selbst gegeben, und es handelt sich blos darum, für die innere Oberfläche eine sehr wenig abweichende Gestalt zu finden, welche die Gesammtwirkung der Schicht auf alle, in ihrer Höhle befindlichen, Puncte verschwinden macht.

Diese angeführten Resultate lassen sich nicht unmittelbar Versuchen unterwerfen; sie hängen jedoch mit andern zusammen, die eine solche Bewährung zulassen, und die wir bald auffinden werden.

Die elektrische Schicht, angeordnet nach der erörterten Weise, wirkt anziehend und abstoßend auf die andern el. Molecule, welche außerhalb ihrer äußern Oberfläche oder in dieser Oberfläche selbst liegen; anziehend, wenn sie mit ihr von ungleichartiger Beschaffenheit sind; abstoßend, wenn sie von gleichartiger sind. In letzterm Falle befinden sich die el. Molecule, welche die äußere Oberfläche der Schicht bilden; jedes derselben wird von Innen nach Außen mit einer Kraft getrieben, welche der Dicke der Schicht an dieser Stelle proportional ist.

Die, unter der äußern Oberfläche in der Dicke der Schicht selbst gelegenen, Puncte erfahren ebenfalls eine solche Abstoßung, die aber geringer ist, weil sie blos der Dicke, durch welche die Puncte von der innern Fläche getrennt sind, proportional ist, und weil die Molecule, die sie von der Seite der äußern Fläche einhüllen, auf sie keine Wirkung äußern. Da allen diesen, nach Innen allmälig abnehmenden, Repulsivkräften die Wirkung der äußern Luft entgegensteht, welche die el. Theilchen hindert, die Oberfläche zu verlassen, so muß begreiflich ein, gegen diese Luft sich äußernder, Totaldruck die Folge seyn, welcher diese Luft fortzutreiben strebt. Dieser Druck steht in zusammengesetztem Verhältniß der, an der Oberfläche sich äußernden, Abstoßungskraft und der Dicke der Schicht; und da eins dieser Elemente stets dem andern proportional ist, so kann man sagen, er sey an jedem Puncte dem Quadrat der Dicke der Schicht proportional; er muß daher im Allgemeinen auf der Oberfläche der elektrisirten Körper veränderlich seyn. Ist dieser Druck allenthalben geringer, als der Widerstand, den die Luft leistet, so wird die El. in dem Gefäß, das die Luft um sie bildet, zurückgehalten und vermag nicht zu entweichen. Erhält dagegen der Druck an irgend einer Stelle der Oberfläche das Uebergewicht über den Widerstand der Luft, so platzt hier das Gefäß und das el. Fluidum fließt wie durch eine Oeffnung aus. Dies geschieht am Ende von Spitzen und den scharfen Kannten eckiger Körper; denn es läßt sich darthun, daß an der Spitze z. B. eines Kegels, der Druck des el. Fluidums unendlich werden würde, wenn die El. sich daselbst anhäufen könnte. An der Oberfläche eines, durch Umdrehung einer Ellipse um ihre große Axe entstandnen, Ellipsoids wird der Druck an keiner Stelle unendlich, ist aber um so beträchtlicher an beiden Polen, je größer die, sie verbindende Axe im Verhältniß zum Durchmesser des Aequators ist. Den angeführten Sätzen zufolge verhält sich dieser Druck zu dem, der auf dem Aequator desselben Körpers Statt hat, wie das Quadrat der Axe der Pole zum Quadrat des Durchmessers des Aequators; wonach, wenn das Ellipsoid sehr in die Länge gezogen ist, der el. Druck am Aequator sehr schwach seyn kann, während er an den Polen den Widerstand der Luft überwiegt. Wirklich, wenn man eine Metallstange von der Gestalt eines sehr verlängerten Ellipsoids elektrisirt, begiebt sich die El. hauptsächlich nach ihren Enden und entweicht durch diese beiden Stellen vermöge des Uebergewichts ihres Drucks über den Widerstand, den die Luft entgegensetzt. Ueberhaupt fließt aus dem, ins Unbestimmte zunehmenden, Druck der El. an einigen Stellen elektrisirter Körper eine natürliche und zuverlässige Erklärung des Vermögens, welches den Spitzen zukommt,

in der nicht leitenden Luft die el. Flüssigkeit, mit der sie geladen sind, schnell ausströmen zu lassen.

Hätte der elektrisirte Körper die Beschaffenheit, daß die El. sich nicht frei in ihm bewegen könnte, so würde der Theil des Drucks, um den die El. den Widerstand der Luft überwiegt, sich gegen die Theilchen des Körpers selbst äußern, von welchem die el. Schicht umhüllt wird, oder im Allgemeinen gegen die, welche entweder durch ihre Verwandtschaft oder auf irgend eine andre Weise sich ihrem Ausströmen widersetzten.

Nachdem nun auf theoretischem Wege ausgemittelt worden ist, auf welche Art sich die El. in einem einzigen isolirten und jedem fremden Einfluß entzogenen Leiter anordnet, wollen wir zu dem zusammengesetzten Fall übergehn, wo mehrere elektrisirte Leiter eine wechselseitige vertheilende Wirkung auf einander ausüben; und da wir Körper in Betracht ziehen müssen, die vermöge ihrer Gestalt dem Calcul unterworfen werden können, so wollen wir zwei Kugeln vornehmen, die aus leitendem Stoff bestehen, beide elektrisirt, und in den Wirkungskreis von einander auf beliebige Weite gebracht sind.

Die Vertheilung der El. in diesem Fall, so wie in allen andern, wo mehrere elektrisirte Körper sich in ihrem gegenseitigen Wirkungskreise befinden, hängt von einem allgemeinen, durch sich selbst einleuchtenden, Grundsatze ab, welcher den großen Vortheil gewährt, alle Fragen dieser Art auf eine mathematische Bedingung zurückzuführen. Dieser Grundsatz lautet, aus Poissons Arbeit entlehnt, folgendermaßen.

„Wenn mehrere elektrisirte Leiter in ihren gegenseitigen Wirkungskreis gebracht sind, und zu einem bleibenden el. Zustand gelangen, so muß in diesem Zustande die Gesammtwirkung (oder die Mittelkraft der Wirkungen) der, sie bedeckenden, el. Schichten auf jeden beliebigen, im Innern eines dieser Körper genommenen, Punct null seyn; denn wäre sie nicht null, so würden die verbundnen El. des in Betracht gezogenen Punctes zersetzt werden und der el. Zustand sich ändern, was der Voraussetzung zuwider wäre, nach der der Zustand bleibend seyn soll.“

Dieser Grundsatz, beim Calcul zu Grunde gelegt, giebt unmittelbar so viel Gleichungen, als man Körper in Betracht zieht, und als die Aufgabe unbekannte Größen darbietet; allein ihre Auflösung liegt oft außerhalb der Gränzen der Analyse. Jedoch ist Poisson, der so glücklich den allgemeinen Schlüssel diese Theorie aufgefunden hat, dahin gelangt, alle analytischen Schwierigkeiten für den Fall zweier Kugeln zu beseitigen, die einander berühren, oder in den

Wirkungskreis von einander gebracht werden, und ursprünglich mit beliebigen Quantitäten von El. geladen sind. Die Formeln, auf die er gekommen ist, liefern eine große Anzahl Resultate, die sich durch die Erfahrung bewähren lassen, und eben so viel strenge Beweise für die Wahrheit der Theorie abgeben. Ueber das Ausführlichere in diesem Bezug verweise ich auf mein größeres Werk und begnüge mich, hier eine einzige dieser Erscheinungen auszuheben, die ganz besondre und merkwürdige Umstände darbietet. Ich meine diejenige, welche Statt hat, wenn zwei Kugeln von ungleichem Durchmesser, nachdem sie in Berührung mit einander gebracht und beide zugleich elektrisirt worden sind, allmälig von einander bis zu verschiednen Weiten entfernt werden, indem sie immer isolirt bleiben. In ihrem el. Zustand gehen hierbei die sonderbarsten Veränderungen vor. Erst, im Augenblick der Berührung, ist, wie sich durch das Prüfungsscheibchen nachweisen läßt, die El. auf beiden Kugeln gleichartiger Beschaffenheit, wie nicht anders zu erwarten stand; aber zugleich ist sie null am Berührungspuncte selbst. Entfernt man nun beide Kugeln von einander, und sind ihre Dimensionen, wie unsre Voraussetzung war, ungleich, so hört die El. auf, an diesem Puncte null zu seyn. Die natürliche El. der kleinern Kugel wird zersetzt, und diejenige, welche der der größern Kugel entgegengesetzt ist, begiebt sich nach dem Puncte, wo die Berührung Statt hatte. Diese Wirkung mindert sich mit zunehmender Entfernung der Kugeln von einander, und wird bei einem gewissen Abstande, der von dem Verhältniß ihrer Durchmesser abhängt, null, wo sich dann der Punct der kleinen Kugel, an welchem die Berührung geschahe, im natürlichen Zustand wieder findet; endlich in einem noch größern Abstande bedeckt sich dieser Punct mit der nämlichen El. als der übrige Theil der Kugel, dem er angehört. Das Daseyn dieser, auf so merkwürdige Weise abwechselnden, Zustände, die Entfernung der Kugeln, bei welcher sie eintreten, ihre beständige Erscheinung auf der kleinern der beiden Kugeln, alles dies läßt sich durch das Prüfungsscheibchen in der Erfahrung nachweisen, wie sich es auch mit derselben Bestimmtheit aus den, von Poisson berechneten, Formeln ergiebt.

Da wir hier ins Einzelne der Erfahrungsbeweise nicht weiter eingehen können, so wollen wir sie als schon unternommen voraussetzen, und aus der Theorie die genaue Bestimmung mehrerer Elemente der el. Wirkungsart herleiten, die man häufig nicht genug unterscheidet.

Das erste, was hier in Betracht kommt, ist die Beschaffenheit der freien El., welche auf der Oberfläche der, den Versuchen unterworfenen, Körper, und zwar an jedem Puncte derselben, ihren Sitz hat. Man mittelt sie aus, indem man diese Puncte mit dem Prüfungs-

scheibchen berührt, und letztres der, schon mit einer bekannten El. geladenen, Nadel des Elektroskops darbietet.

Der zweite Umstand ist die Menge dieser El., welche sich an jedem Punct angehäuft findet, oder, was das nämliche ist, die Dicke der el. Schicht. Auch diese mißt man, indem man den Punct mit dem Prüfungsscheibchen berührt, und letztres der, mit gleichartiger El. zuvor geladenen, Nadel des Elektroskops darbietet. Die Kraft der Drehung, welche erfordert wird, der el. Reaction des Scheibchens das Gleichgewicht zu halten, ist, bei gleichen Abständen, der Quantität El., welche das Scheibchen aufgenommen hat, proportional, oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Dicke der el. Schicht auf dem Elemente, welches vom Scheibchen berührt worden ist.

Das Dritte, was die Theorie in Betracht ziehen kann, ist der Einfluß, den jedes Element der el. Schicht auf ein Molecul elektrischer Flüssigkeit, welches in der Oberfläche der Schicht oder außerhalb derselben liegt, ausübt. Die Anziehung oder Abstoßung, so erwogen, ist der Dicke der el. Schicht auf dem Element der Oberfläche, von wo aus die Anziehung oder Abstoßung betrachtet wird, direct proportional, und dem Quadrat des Abstands, der dies Element vom angezogenen oder abgestoßenen Punct trennt, umgekehrt proportional.

Das Letzte endlich, was wir zu erwägen haben, ist der Druck, den die El. gegen die äußere Luft an jeder Stelle der Oberfläche des elektrisirten Körpers ausübt. Die Intensität dieses Drucks ist dem Quadrat der Dicke der el. Schicht proportional.

Bleibt man diesen Begriffsbestimmungen treu, so läuft man nicht Gefahr, sich in vage Betrachtungen zu verlieren; und erinnert man sich dabei der Erregungsart der El. durch vertheilende Wirkung in die Ferne, so wird man den Schlüssel zu fast allen el. Erscheinungen haben.

Gar sehr verdient folgende Bemerkung beherzigt zu werden. Wir haben gefunden, daß alle Erscheinungen, die der Calcul bisher aus der Voraussetzung, daß die El. eine höchst feine Flüssigkeit sey, herzuleiten vermocht hat, sich in der Erfahrung aufs Genaueste und mit den Zahlwerthen vollkommen in Uebereinstimmung ergeben haben; mag nun die eigentliche wahre Natur der El. seyn, welche sie wolle, immer werden wir die bisher angenommene Grundbeschaffenheit der el. Fluida auch für unsre weitern Untersuchungen vorläufig sicher zu Grunde legen können; denn nach den schon angestellten Prüfungen dürfen wir uns überzeugt halten, daß die wahre Natur der El., welcher Art sie auch sey, mit derselben Schärfe für die nämlichen Thatsachen wird anwendbar seyn, und daß man mithin, wenn man letztre in Bezug darauf betrachtet, wieder dieselben Bedingungen der Erscheinungen zu Grunde liegen sehen wird, die die Voraussetzung der El. als zweier

Flüssigkeiten mit sich brachte; so daß die Herleitung der Erscheinungen nicht etwa auf eine andre Art oder durch andre Formeln, als die jetzt gebrauchten, geschehen wird. Von neuen Beobachtungen aber oder auch blos neuen Anwendungen steht, bei weitern Fortschritten der mathematischen Analyse, die Bestätigung oder die Widerlegung der physischen Realität der Theorie zu erwarten; wo wir dann erfahren werden, ob sie wirklich die genaue und allgemeine Auslegung aller Erscheinungen giebt, oder blos einen genäherten und besondern Ausdruck für die, ihr bisher unterworfenen, gewährt.

Dieses Fortschreiten in den Ansichten ist schon in der Aufeinanderfolge der Theorieen bemerkbar, welche der von uns dargelegten vorausgegangen sind. Unter ihnen hat vorzüglich Eine eine solche Berühmtheit erlangt, und ist von so wohlthätigem Einfluß für die Fortschritte der Physik gewesen, daß sie eine besondre Erwähnung verdient. Die meisten el. Erscheinungen lassen sich, wenn man sich auf ihre allgemeinsten Umstände beschränkt, unter der Annahme darstellen, als sey blos ein einziges el. Fluidum vorhanden, von dem eine gewisse Quantität sich in allen Körpern befinde, um ihren natürlichen Zustand zu bilden. Ein Uebermaß des Fluidums in den Körpern bringt nach dieser Ansicht das hervor, was wir Glaselektricität oder positive El. genannt haben, ein Mangel desselben dagegen den Zustand, den wir durch Harzelektricität oder negative El. bezeichnet haben. Die Anhänger dieser Theorie nehmen auch an, daß die Molecule der el. Flüssigkeit sich wechselseitig abstoßen; da jedoch die Erfahrung zeigt, daß die Körper im natürlichen Zustande keine el. Wirkung auf einander ausüben, so sind sie zu der Voraussetzung genöthigt, daß die el. Molecule durch die Materie der Körper selbst angezogen werden. Eine gründliche und auf mathematische Berechnungen gestützte Untersuchung endlich lehrt, daß bei dieser Voraussetzung noch kein Gleichgewicht bestehen kann, sondern die Annahme hinzutreten muß, daß die Molecule der Körper auf einander eine abstoßende Wirkung ausüben, welche auf große Entfernungen merklich ist, wie die vertheilenden Wirkungen der El. selbst, und sich mit der Entfernung ganz nach dem nämlichen Gesetze ändert. Franklin, der erste Begründer dieses Systems, brachte durch dasselbe sehr sinnreich alle, bis dahin bekannte, el. Erscheinungen, die bis dahin vereinzelt und zerstreut gewesen waren, in Zusammenhang; ohne jedoch die paradoxe Folgerung vorauszusehen, zu welcher seine Hypothese führt.*)

---

*) Nach Franklin nennt man auch die Theorie, welche blos ein el. Princip zulässig findet, die Franklinsche; die bisher erörterte aber, welche zwei Principe zu Grunde legt, die Symmersche oder dualistische.

Aepinus war der erste, der durch eine genaue Analyse aller Kräfte, welche zur Hervorbringung des el. Gleichgewichts zusammenwirken, auf das Erforderniß einer Abstoßung zwischen den materiellen Theilchen der Körper geführt ward (Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi, S. 39); nach ihm kam der berühmte Physiker H. Cavendish auf dieselbe Folgerung; denn er legte diese Abstoßung einer Theorie über das Wesen der El. als erste Bedingung zu Grunde. Man findet dieselbe, die übrigens der Theorie des Aepinus ganz ähnlich ist, in den Philosophischen Transactionen des Jahres 1771 auseinandergesetzt.

Obwohl das Daseyn einer solchen abstoßenden Kraft zwischen den materiellen Theilchen aller Körper dem ersten Anblick nach ganz unvereinbar mit den allgemeinsten Erscheinungen, welche das Weltall darbietet, insbesondre mit dem Gesetz der Anziehung der Himmelskörper, scheinen mag, so ist doch dem nicht so in der That. Denn diese Abstoßung, wie sie zufolge der Hypothese von Aepinus und Cavendish Statt findet, wird genau aufgewogen durch die wechselseitige Anziehung, die nach derselben Hypothese zwischen den Quantitäten Materie und denen elektrischer Flüssigkeit Statt findet, welche alle Körper enthalten, so lange sie sich in ihrem natürlichen Zustande befinden: so daß aus diesen beiden sich entgegenwirkenden Ursachen keine Endwirkung hervorgehen kann, welche die Körper sollicitirt, so lange sie in diesem Zustande bleiben; und ihr Daseyn würde daher auf keine Weise den Wirkungen jener andern allgemeinen Anziehungskraft, welche sich zwischen den Körpern unabhängig von ihrem el. Zustande äußert, im Wege stehen. Nimmt man nun an, daß dem wirklich so sey, so wird man allerdings einen großen Theil der el. Erscheinungen zur Einheit verbinden, sie sich in einer gegenseitigen Abhängigkeit vorstellen, und selbst sie voraus bestimmen können, zwar nicht nach Maß und Zahl, aber doch ihren allgemeinen Umständen nach. So giebt z. B. diese Theorie die Erklärung der gegenseitigen Anziehungen und Abstoßungen elektrisirter Körper, und selbst der Elektricitätserregung in Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden, durch vertheilende Wirkung aus der Ferne. Allein seit der Zeit, wo diese Theorie zuerst ans Licht trat, sind eine Menge besondrer Umstände bei den Erscheinungen mehr ins Einzelne beobachtet und mit größerer Schärfe festgestellt; eine große Zahl derselben auch auf strenge Maße zurückgeführt worden. Kurz wir haben jetzt den Ausdruck der Erscheinungen in Zahlen, und Zahlen also sind es, denen die Theorie Genüge zu leisten hat. So war z. B. zu der Zeit, als Cavendish und Aepinus schrieben, das Gesetz der el. Anziehungen und Abstoßungen noch durch keine genauen Versuche festgestellt; es ließ sich also

zweifeln, ob die Kräfte, welche diesen Erscheinungen zu Grunde lagen, sich nach dem Verhältniß des Quadrats, des Cubus oder irgend einer andern Potenz des Abstands änderten. Man war daher nicht im Stande, Ausdrücke in Zahlwerthen für die Vertheilungsart der El. in Körpern, in denen sie sich, blos vermöge ihrer Wirkung auf sich selbst, ins Gleichgewicht setzt, zu geben, oder das Verhältniß ihrer Vertheilung zwischen zwei Körpern von gegebener Gestalt nachzuweisen, weil diese mehr ins Feine gehenden Erscheinungen von dem Gesetze abhängen, nach welchem die el. Flüssigkeit auf sich selbst und auf die andern Körper wirkt. Fände z. B. das Gesetz des Cubus statt, so würden die Bedingungen der Vertheilung der El. in einem oder zwischen mehrern Körpern ganz verschieden von denen seyn, die das Gesetz des Quadrats mit sich bringt; wir können demnach jetzt ersteres Gesetz, als den Erscheinungen zuwiderlaufend, für falsch erklären. Eben so, wenn man das Gesetz des Quadrats der Abstände auf die Hypothese von Cavendish oder Aepinus anwenden wollte, würde man wahrscheinlich auf Folgerungen geführt werden, welche den wirklich Statt findenden Verhältnissen der Vertheilung der El. in einem oder zwischen zwei Körpern, die wir gegenwärtig durch die Beobachtung kennen, zuwiderliefen, wodurch dann gleichfalls die Unstatthaftigkeit dieser Hypothese nachgewiesen wäre. Jedoch ist eine solche Herleitung noch nicht versucht worden, und scheint auch bei der Verwicklung, welcher die in Rede stehende Hypothese unterliegt, sehr schwer ausführbar. Glücklicherweise hat dies nicht viel auf sich, denn ein weiterer Verfolg der Hypothese könnte im günstigsten Falle nur dahin führen, ihre Uebereinstimmung mit den Erscheinungen darzuthun, eine Ueberstimmung, die sich schon bei der jetzt angenommenen Theorie zweier el. Fluida in der größten Schärfe ergiebt, und zwar, was ein nicht unwichtiger Umstand ist, mit einer Einfachheit, einer vollendeten Analogie, und unter einer Form, die sie fähig macht, dem Calcul leicht unterworfen werden zu können.

Sechstes Capitel.

Theorie der Bewegungen, zu welchen die Körper durch die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen veranlaßt werden.

Gleich bei den ersten Untersuchungen, die wir über die el. Erscheinungen anstellten, entdeckten wir, daß zwei, in ihren gegenseitigen Wirkungskreis gebrachte, Körper einander anzuziehen oder abzustoßen scheinen. Die Beobachtung lehrte uns weiterhin, daß die Anziehung und die Abstoßung blos zwischen den Theilchen der el. Flüssigkeiten Statt habe, ohne daß die materielle Substanz der Körper durch eine besondre Verwandtschaft den geringsten Antheil daran nimmt. Wir haben mithin zu untersuchen, wie und durch welchen Mechanismus die Wirkungen dieser Kräfte auf die Theilchen der Körper übergehen, und ihnen die Bewegungen, die wir an denselben beobachten, einpflanzen können.

Der größern Einfachheit halber wollen wir uns erst darauf beschränken, zwei elektrisirte Kugeln A und B zu betrachten, deren eine A befestigt, die andre B beweglich ist. Hier können drei Fälle eintreten, deren jeder eine besondre Erwägung verdient.

1) A und B Nichtleiter;
2) A Nichtleiter, B Leiter;
3) A Leiter und B Leiter.

Im ersten Falle werden die el. Theilchen auf den Körpern A und B durch die unbekannte Kraft festgehalten, welche die Eigenschaft des Nichtleitens bedingt. Da sie diese Körper nicht verlassen können, so theilen sie mit denselben die Bewegungen, die ihre wechselseitige Wirkung ihnen selbst einzupflanzen strebt.

Die Kräfte nun, von welchen in diesem Fall die Bewegung abhängen kann, sind 1) die wechselseitige Anziehung oder Abstoßung des Fluidums in A gegen das Fluidum in B; 2) die Abstoßung, die das Fluidum in B auf sich selbst äußert. Allein die Abstoßungskräfte der Theile eines Systems gegen sich selbst können keine Verrückung seines gemeinschaftlichen Schwerpuncts bewirken, heben sich vielmehr in jeder Kugel durch ihr eignes Entgegenwirken auf, daher hieraus keine Bewegung der einen Kugel gegen die andre erfolgen kann. Die erste Art Kräfte ist mithin allein in Betracht zu ziehen. Wenn die El. auf jeder Kugel gleichförmig vertheilt ist, so erfolgt die Anziehung oder Abstoßung der einen gegen die andre gerade so, als wenn ihre ganze el. Masse in ihrem Mittelpunct vereinigt wäre, und die Gesammtkraft ihrer Anziehung oder Abstoßung gegen einander ist dem

Product der Totalquantitäten El. proportional, welche sie besitzen. Diese Kraft geht auf die wägbare Materie der beiden Kugeln A und B über, vermöge der Anziehung, durch welche die el. Theilchen an ihr festgehalten werden; und da der Ausdruck dieser Kraft aus zwei Factoren zusammengesetzt ist, so müßte sie begreiflich null werden, wenn die eine oder die andre der beiden Kugeln nicht ursprünglich mit einer fremden El. geladen wäre. Während der Bewegung erfährt sie keine andre Veränderung, als die, welche die Veränderung des Abstandes mit sich bringt; denn da beide Kugeln der Voraussetzung zufolge aus vollkommnen nicht leitenden Substanzen bestehen, so kann ihre wechselseitige Wirkung keine neue Elektricitätsentwicklung veranlassen.

Im zweiten Fall erfährt die Kugel B, welche als aus leitendem Stoff bestehend angenommen wird, eine Zersetzung ihrer natürlichen El. durch den vertheilenden Einfluß von A. Die entgegengesetzten Elektricitäten, welche in Folge dieser Zersetzung hervortreten, verbinden sich mit der Quantität fremder El., mit der man die Kugel geladen hat, und ordnen sich zusammen den Gesetzen des el. Gleichgewichts gemäß an; jetzt kann man die Bewegung von B gegen A aus einem doppelten Gesichtspuncte betrachten.

Wir wollen zuerst annehmen, man breite, ohne den el. Zustand von B zu stören, über ihre Oberfläche eine isolirende, feste, gewichtlose Schicht aus, die unveränderlich an ihr haften bleibe. Die El. von B, hierdurch am Entweichen verhindert, wird sich so zu sagen, gegen diese Schicht anstemmen und mittelst ihrer zu den Theilchen des Körpers die Kräfte, durch die sie sollicitirt wird, überpflanzen. Dann werden die, auf das System wirkenden, Kräfte seyn; 1) die wechselseitige Anziehung oder Abstoßung des Fluidums A gegen das Fluidum B; 2) die Abstoßung des Fluidums B gegen sich selbst; die aber keine Bewegung des Schwerpuncts von B zur Folge haben kann; 3) der Druck des Fluidums gegen die isolirende Hülle, die jedoch genau durch die Gegenwirkung der Hülle aufgewogen wird, so daß auch hiedurch keine Bewegung veranlaßt werden kann. Die erste Kraft verdient somit allein Berücksichtigung.

Wenn der Abstand D beider Kugeln sehr groß im Verhältniß zu den Halbmessern ihrer Oberflächen ist, so sind die zersetzten El. von B, der Berechnung sowohl als der Erfahrung zufolge, ziemlich gleich auf der, A zugekehrten und der von A abgekehrten, Hemisphäre vertheilt. Die Wirkungen, die sie von Seiten A's erfahren, sind dann einander fast gleich, und heben sich gegenseitig auf. Alle in Wirksamkeit tretende Kraft rührt also von den Quantitäten fremder El. her, mit welcher die beiden Kugeln geladen worden sind, und ist dem Product

dieser Quantitäten gleich. So lange die beiden Kugeln sehr entfernt von einander sind, ändert sich dies Product, so wie die, dadurch gemessene Anziehungs = oder Abstoßungskraft blos vermöge der Veränderung des Abstands. Doch läßt sich dies blos annäherungsweise behaupten. Denn streng genommen ändert sich der el. Zustand der leitenden Kugel B mit ihrer Annäherung an A, wegen der Trennung, die diese in ihren natürlichen El. bedingt. Mithin muß auch die gegenseitige Wirkung der elektrisirten Kugeln sich nach einem sehr verwickelten Gesetze abändern.

Das Daseyn einer isolirenden gewichtlosen Hülle ist hier blos zu dem Zweck vorausgesetzt worden, um das el. Fluidum als an die materiellen Theilchen des Körpers B gefesselt darzustellen. Man kann sich selbst diese Vorstellung als verwirklicht durch die dünne Luftschicht denken, welche gewöhnlich die Körper als eine, an ihrer Oberfläche haftende, Hülle umgiebt. Doch auch ohne Hülfe eines solchen Zwischenmittels kann man zu dem nämlichen Resultate gelangen, wenn man nämlich den Druck in Betracht zieht, den die, in B im Zustande der Freiheit vorhandnen, Elektricitäten auf die Luft äußern. Wirklich begeben sich diese Elektricitäten, sowohl die hineingebrachten, als die, durch vertheilenden Einfluß zersetzten, nach der Oberfläche von B, wo sie die Luft durch ihren Druck fest hält und auszuströmen hindert. Sie ordnen sich also unter dieser Oberfläche so an, wie ihre Wirkung auf sich selbst und der Einfluß des Körpers A mit sich bringt, indem sie sich deshalb gegen die Luft stemmen, die ihrer Ausdehnung hinderlich ist. Sie drücken nun, um dies Hinderniß zu überwältigen, gegen diese Luft von Innen nach Außen, und streben dieselbe wegzudrängen mit einer Kraft, welche dem Quadrat der Dicke der el. Schicht an jedem Punct proportional ist. Zerlegt man alle diese Druckkräfte nach drei auf einander rechtwinkligen Axen von Coordinaten X, Y, Z, deren eine Z nach dem Mittelpuncte der Kugel A zu gerichtet ist, und macht die partiellen Summen derselben; so wird man finden, daß sie nach X und Y null sind, so daß für die endliche Wirkung nur eine einzige, nach dem Mittelpunct der Kugel A zu gerichtete, Kraft übrig bleibt. Sind die Kugeln im Verhältniß zu den Halbmessern ihrer Oberflächen sehr entfernt von einander, so drücken die zersetzten Elektricitäten von B die äußere Luft nach entgegengesetzter Richtung mit beinahe gleicher Stärke, so daß sich ihre Wirkungen fast völlig aufheben. Der Erfolg hängt also dann blos noch von den Quantitäten fremder El., womit beide Kugeln geladen sind, ab, und äußert sich durch einen überwiegenden Druck, dessen Richtung nach der, beide Mittelpuncte verbindenden, Linie geht, und dem Product dieser Quantitäten proportional ist, d. i. ganz so, wie ihn die andre Methode

gegeben hatte. Es leuchtet übrigens von selbst ein, daß auch für diese Darstellung die nämlichen Beschränkungen gelten, da, streng genommen, auch hier der Druck der el. Schicht gegen die äußere Luft sich mit der Quantität natürlicher El. abändern muß, welche bei Annäherung beider Kugeln an einander in B durch vertheilenden Einfluß A's zersetzt wird.

Die Auflösung des dritten Falls, wo A und B beide Leiter sind, ergiebt sich ganz nach den nämlichen Grundsätzen, indem man sich entweder die beiden elektrisirten Oberflächen mit einer isolirenden Hülle bedeckt vorstellt, und die gegenseitigen Wirkungen beider Fluida, die sich mittelst dieser Hülle zu den materiellen Theilchen überpflanzen, berechnet; oder auch, indem man den Druck, der durch die beiden el. Schichten auf die äußere Luft ausgeübt wird, in Betracht zieht, und den Ueberschuß desselben nach der, beide Mittelpuncte verbindenden, Linie berechnet. Nur wird in diesem Fall die Kraft der Anziehung oder Abstoßung beider Kugeln bei Annäherung derselben an einander nicht blos vermöge der dadurch bedingten Veränderung in der Stärke der el. Wirksamkeit, sondern auch vermöge der immer mehr zunehmenden Zersetzung der natürlichen Elektricitäten, welche in beiden Leitern, A und B vor sich geht, verändert werden*).

Die eben gefundnen Resultate würden auch noch Statt haben, wenn beide Kugeln A und B Freiheit hätten, sich gegen einander zu bewegen; denn immer kann man ohne Störung ihrer wechselseitigen Wirkung beiden zugleich eine Bewegung einpflanzen, welche der Bewegung der einen gleich aber in entgegengesetzter Richtung vor sich gehend ist; wodurch diese in Ruhezustand versetzt werden würde, und die Aufgabe auf den, von uns betrachteten, Fall zurückkäme. Wenn wir endlich Körper von kugliger Gestalt wählten, so geschah dies blos deshalb, um die Berechnungen ausführen zu können, welche in jedem Fall die Werthe der Anziehungen geben. Denn die nämliche Herleitung findet ihre Anwendung auch auf alle zusammengesetzten Fälle.

---

*) Die so scharfsinnig entwickelte Theorie des Verfassers, nach welcher bei der el. Anziehung und Abstoßung die Luft wesentlich mit in Betracht kommt, scheint sich nicht wohl mit neuern Versuchen von Davy vereinigen zu lassen. Er hing an einen, in das obere Ende einer Art Barometerröhre eingeschmelzten, Platindraht in einem Fall zwei feine Platindrähte, in einem andern zwei feine Stahldrähte an, die an ihren untern Enden mit zwei sehr kleinen Kügelchen aus denselben Metallen versehen waren. Es fand sich, daß diese Kügelchen wenn der Platindraht elektrisirt wurde, in der vollkommensten, über dem Queckſilber zu bildenden, Leere sich einander eben so abstießen, als sie es unter den gewöhnlichen Umständen gethan haben würden, und eben so gehorchten die Stahlkügelchen einem Magnete gerade so, als in der Luft. (Gilb. Annal. Jahrg. 1822. Dec.)

So wollen wir z. B. diese Betrachtungsart auf die Erscheinungen anwenden, welche ein, durch Wirkung einer elektrisirten Röhre aus der Verticale abgelenktes, Pendel darbietet. Um von einer festen Vorstellung auszugehn, denke man sich dies Pendel bestehend aus einer kleinen Hollundermarkkugel, aufgehangen an einem Seidenfaden CS, Fig. 17, und mit positiver El. geladen. So lange die Kugel jedem fremden Einfluß entzogen ist, wird sich die El. unter ihrer Oberfläche in eine sehr dünne kugelförmige Schicht von überall gleicher Dicke anordnen; und der Druck, den sie auf die äußere Luft ausübt, wird mithin auch überall gleich seyn, weil er an jedem Puncte stets dem Quadrat der Dicke der Schicht proportional ist. Die kleine Kugel wird also einen geringern Druck von der äußern Luft erfahren, als wenn keine freie El. auf ihrer Oberfläche vorhanden wäre; jedoch wird dieser Druck auf ihre Theile gleichmäßig seyn, und sie daher nach keiner Richtung in Bewegung kommen können.

Gesetzt nun, man nähere der Kugel auf eine gewisse Weite einen negativ elektrisirten Stab von Gummilack oder Siegellack; so wird sogleich ein Theil der natürlichen Elektricitäten der Kugel durch vertheilende Wirkung desselben zersetzt werden. Der negative Antheil wird den Stab fliehen, der positive sich gegen ihn hinbegeben. Dieser letztern Richtung wird auch die fremde, ursprünglich unter der Oberfläche der Kugel verbreitete, positive El. folgen. Der Druck auf die Luft, der stets dem Quadrat der Dicke der el. Schicht proportional ist, wird also auf der Seite des Stabes stärker werden; und mithin der atmosphärische Druck, der ursprünglich auf der ganzen Oberfläche der Kugel gleich war, auf der entgegengesetzten Fläche verhältnißmäßig das Uebergewicht erhalten. Vermöge dieses überwiegenden Drucks wird also die Kugel nach dem negativ el. Stabe hingetrieben; so daß, wenn man sie mit einem andern Seidenfaden CS' in der entgegengesetzten Richtung von der, nach welcher die Kugel hinstrebt, zurückhalten will, dieser Faden den ganzen Unterschied des Drucks, den die Luft gegen beide Flächen äußert, erleiden wird.

Gesetzt nun dieser Faden würde durchschnitten, so wird die Kugel dem, sie sollicitirenden, Kraftbestreben folgen, und der isolirende Faden CS, der sie hält, sich aus der Verticale entfernen. Diese Entfernung wird jedoch eine Gränze haben; denn das Gewicht der Kugel, welches bei der ursprünglichen Lage derselben durch den Aufhängungspunct S getragen wurde, wird es nur noch zum Theil bei der schiefen Richtung CS', Fig. 18. Wirklich, wenn man das Kraftbestreben dieses Gewichts durch die Verticallinie C'P vorstellt, so wird man es in zwei andre Kräfte zerlegen können, eine, C'Q, welche in die Richtung der Verlängerung des Fadens fällt, und durch seinen Widerstand

aufgehoben wird, und eine zweite C'R, die senkrecht auf den Faden ist, und die Kugel zum untersten Puncte zurückzuführen strebt. Offenbar nun wird diese zweite Kraft mit dem Winkel CSC' wachsen; und mithin ein um so stärkeres Bestreben äußern, die Kugel herabzuziehen, je weiter dieselbe aus der Verticale entfernt ist. Bei jeder Lage des Stabes mithin wird die Abweichung des Fadens so beschaffen seyn, daß der Ueberschuß atmosphärischen Drucks, welcher die Kugel zu erheben strebt, dem Theil der zerlegten Schwerkraft gleich sey, welche sie strebt herabzuziehen.

Wir haben Kugel und Stab als mit ungleichartigen Elektricitäten geladen angenommen: wären sie mit gleichartigen geladen, so würden diese Elektricitäten sich abstoßen, anstatt sich anzuziehen. Der Druck der El. der Kugel gegen die äußere Luft würde an der, von dem Stabe entferntesten, Fläche derselben das Uebergewicht erhalten, und die Kugel würde streben, sich von dem Stabe zu entfernen.

So sind die Vorgänge in der Regel. In manchen Fällen jedoch beobachtet man eine Erscheinung, welche dem ersten Anblick nach diese ganze Herleitungsart als ungültig darzustellen scheint. Nähert man zwei, auf dieselbe Weise elektrisirte, Körper einander, so sieht man ihre Abstoßung schwächer werden, ja, wenn man fortfährt, sie einander immer näher zu bringen, dieselbe endlich in Anziehung übergehen. Dies geschieht gewöhnlich, wenn einer von den Körpern sehr klein in Verhältniß zum andern und schwach elektrisirt ist; z. B. in dem Fall, wo die kleine Hollundermarkkugel des el. Pendels mit negativer El. geladen ist, und ihr eine dicke Stange gleichfalls negativ elektrisirten Siegellacks immer näher gebracht wird. Allein weit entfernt, daß diese Erscheinung unsrer Theorie widerspräche, ist sie vielmehr eine Folgerung daraus. In dem Maße als die Stange bei ihrer Annäherung an die Kugel die, dieser ursprünglich ertheilte, negative El. zurückstößt, zersetzt sie eine beträchtlichere Menge von den verbundnen El. derselben, stößt den negativen Theil derselben zurück, der sich mit der schon vorher darin vorhandenen negativen El. verbindet und zieht den positiven Theil an, die sich nach ihr zu begiebt. Wären diese beiden zersetzten El. allein auf der Kugel vorhanden, so würde dieselbe fraglos gegen die Stange angezogen werden, und zwar um so stärker, je näher ihr diese käme, und je stärker sie elektrisirt wäre, ohne daß sich Gränzen für diese Anziehung denken ließen. Dem ist aber nicht so in Betreff der Abstoßung, welche von der, der Kugel ursprünglich ertheilten, bestimmten Menge negativer El. herrührt. Diese Abstoßung kann nur durch Verminderung des Abstands zunehmen. Wird diese bei einem gewissen Abstand ihrer Stärke geringer, als die der Anziehung, welche der progressiven Entwicklung der na-

türlichen Elektricitäten ihren Ursprung verdankt, so erhält letztere Kraft das Uebergewicht und die Kugel nähert sich der Stange. Man begreift hienach, daß die Möglichkeit der Erscheinung von den Verhältnissen abhängt, welche zwischen den, ursprünglich auf der Kugel und der Stange vorhandnen, Quantitäten El. Statt finden; und wenn man auch diese Verhältnisse nicht näher anzugeben weiß, so sieht man doch, daß die Umkehrung der Wirkungen um so leichter, bei einem um so größern Abstand erfolgen muß, je mehr die Stange und je weniger die Kugel elektrisirt ist; so daß, wenn der Abstand für unveränderlich angenommen wird, die Abstoßung oder Anziehung blos von dem, zwischen den Elektricitätsmengen Statt findenden, Verhältniß abhängt.

Dieser Erfolg läßt sich durch einen Versuch nachweisen, welchen Fig. 19 erläutert. Ein isolirter Metallcylinder wird in Verbindung mit dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine gesetzt, und zur Seite dieses Cylinders an einem Seidenfaden eine kleine Hollundermarkkugel aufgehangen, die durch einen andern, am Cylinder selbst befestigten Seidenfaden gehindert ist, sich von ihm über eine gewisse Weite hinaus zu entfernen. Man elektrisirt erst den Cylinder schwach. Die Kugel wird angezogen, berührt ihn, und wird wieder abgestoßen. Man fährt fort, den Cylinder zu elektrisiren, die Kugel wird wieder angezogen, u. s. f. angezogen und abgestoßen, unsrer Theorie gemäß.

Um diese Betrachtungen durch ein andres Beispiel zu erläutern, wollen wir ihre Anwendung auf die Bewegungen des Goldpapierscheibchens zeigen, das sich am Ende der Nadel des Elektroskops oder der el. Wage befindet. Denken wir uns dies Scheibchen erst mit El. von einer gewissen Beschaffenheit geladen. Es werde ihm dann in einiger Entfernung und fast parallel mit seiner Oberfläche ein andres elektrisirtes und unbewegliches Scheibchen hingehalten, das ich erst als aus einem nichtleitenden Stoffe bestehend annehmen will, damit die, auf seiner Oberfläche vertheilte, El. ihre Stelle nicht verändere. So lange das bewegliche Scheibchen allein in der Wage befindlich ist, vertheilt sich die El. auf seinen beiden Flächen, wegen ihrer Symmetrie, auf die nämliche Art und in gleichen Verhältnissen. Der Druck gegen die äußere Luft ist mithin von beiden Seiten gleich, und kann keine Bewegung zur Folge haben. So wie aber diese El. in die Wirkungssphäre des unbeweglichen Scheibchens kommt, wird sie von dessen El. angezogen oder abgestoßen, und drückt nun ungleich auf ihren beiden Flächen gegen die äußere Luft. Im Fall der Anziehung überwiegt ihr Druck auf der, dem unbeweglichen Scheibchen zugekehrten, Seite; im Fall der Abstoßung auf der davon abgewendeten. Im ersten Fall also treibt die Uebermacht des Luftdrucks das bewegliche Scheibchen nach dem unbeweglichen hin; entfernt es dagegen im zweiten davon.

Die Oberflächen, die wir bisher betrachteten, waren so gestaltet, daß sich die El., wenn sie sich selbst überlassen war, offenbar symmetrisch auf denselben anordnen und gleichen Druck auf ihre entgegengesetzten Theile äußern mußte. Hier konnte der elektrisirte Körper, wenn er keinem anderweiten fremden Einfluß ausgesetzt war, nicht anders als in Ruhe bleiben. Obwohl nun eine solche Ausgleichung des entgegengesetzten Drucks schwerer an Körpern von minder einfacher Gestalt nachzuweisen ist, so ist darum nicht minder gewiß, daß sie Statt findet; dem einem, in der Mechanik erwiesenen, Satze zufolge können die wechselseitigen Wirkungen der Theile eines freien Systems diesem keine Fortbewegung oder Rotation um seinen eignen Mittelpunct einpflanzen.

Anders würde sich die Sache in dem Fall verhalten, wenn das el. Fluidum an irgend einer Stelle des Körpers auszuströmen vermöchte. Man verfertige z. B. aus einem dicken Messing- oder Eisendraht eine Nadel AA, Fig. 20, deren beide Enden senkrecht auf ihrer Länge in entgegengesetzter Richtung gebogen und scharf zugespitzt sind. Durch die Mitte C werde ein kleines Loch gebohrt, darauf ein kegelförmiges Hütchen angebracht, und mittelst dessen die Nadel auf einen Stift CM gesetzt, um den sie sich horizontal drehen kann. Den Fuß des Stifts schraube man auf das Ende des Conductors einer Elektrisirmaschine. So lange keine El. erregt wird, bleibt die Nadel unbeweglich in der gegebenen Lage: so wie man aber die Elektrisirmaschine in Wirksamkeit treten läßt, fängt die Nadel an, sich mit zunehmender Schnelligkeit zu drehen, als wenn sie die Luft mit ihren Spitzen forttriebe.

Um das Verständniß dieser Erscheinung zu erlangen, wollen wir uns denken, die Nadel sey nach ihrem Elektrischwerden mit einer dünnen isolirenden gewichtlosen Schicht bedeckt, die sie allenthalben umhülle, und werde frei im leeren Raume an einem Seidenfaden aufgehangen, die ihr eine freie Drehung um ihre Mitte C gestatte. In diesem Fall wird der, an der Oberfläche der el. Schicht Statt findende, Druck sich gegen die isolireude Hülle äußern; dem eben angeführten Satz der Mechanik zufolge jedoch kann er dem System keine Rotationsbewegung um sich selbst einpflanzen; so daß alle Druckkräfte, nach welchen Richtungen man sie auch zerlegt denken mag, sich auf den entgegengesetzten Flächen wechselseitig aufheben werden. Gesetzt nun, man beraube irgend einen Theil der Nadel, ich sage nicht gerade, das Ende der Spitze, sondern welche Stelle es auch sey, der isolirenden Hülle, so daß die El. durch diese Oeffnung auszuströmen vermöge; so wird in Folge des, hier Null gewordnen, Drucks blos die Wirksam-

keit des entgegengesetzten Drucks übrig bleiben, und die Nadel sich mithin nach der Richtung, nach der er sie treibt, drehen.

Im absolut leeren Raume würde sich dies Resultat nicht wohl beobachten lassen, weil hier die El. sich augenblicklich zerstreuen würde, wenn man die isolirende Schicht zerrisse; allein es läßt sich in freier Luft hervorbringen; wofern man nur die Enden der Nadel scharf genug zuspitzt, daß die El. sich daselbst in dem Grade anzuhäufen vermag, um den Luftdruck zu überwältigen. Dann dient die Luft selbst der Nadel als isolirende Hülle, und diese wird durch das eigne Kraftbestreben der El. durchbrochen; anstatt daß unsre erste Annahme die Oeffnung künstlich bewerkstelligt voraussetzte. Die Erscheinung geht ganz so vor, als ob die Nadel, anstatt elektrisirt zu seyn, ein hohles, mit Wasser oder Queckſilber gefülltes, Gefäß wäre, und seine, in Spitzen umgebogenen, Enden zwei kleine Canäle, deren Mündungen durch den Druck der Flüssigkeit aufgebrochen wären. Da hier der Druck an diesen Mündungen null wird, so muß der, gegen das entgegengesetzte Element der innern Oberfläche gerichtete, die Nadel nach der entgegengesetzten Richtung treiben und sie so nöthigen, sich um ihre Mitte zu drehen. In der That haben wir eine solche Bewegung zur Ausführung gebracht, im ersten Buche. S. 60.

Wenn man in diesem Fall das Product der Massen in die Geschwindigkeiten aller ausfließenden Molecule der Flüssigkeit nimmt, so wird es stets gleich seyn der Summe der Producte der Massen in die Geschwindigkeiten der andern Puncte der Nadel, und der, mit ihr nach entgegengesetzter Richtung sich drehenden, Flüssigkeit; die nämliche Gleichheit wird also auch noch bei der Bewegung der elektrisirten Nadel Statt haben müssen. Da nun die Masse der ausströmenden el. Molecule so gering ist, daß sie durchaus keine Schätzung zuläßt, weil selbst die zuverlässigsten Wagen keine merkliche Gewichtszunahme an den am stärksten elektrisirten Körpern zu erkennen geben, so muß dafür die Geschwindigkeit der el. Theilchen unendlich bedeutend seyn; und vielleicht kann man sich hiernach am besten eine Vorstellung von ihrer Schnelligkeit machen.

Bevor man die wahren Gesetze des Gleichgewichts der El. kannte, war man völlig im Dunkel darüber, wie die Anziehungen und Abstoßungen, welche eigentlich nur zwischen den el. Theilchen selbst Statt haben, auf die materiellen Theilchen der Körper übergehen könnten, und bezeichnete diese Wirkung mit dem unbestimmten Worte Spannung (tension), welches die El. gleichsam wie eine Art elastischer Feder darstellte, die die elektrisirten Körper zu nähern oder auseinander zu treiben strebte. Nach den gegebenen Erörterungen jedoch wird man die Art, wie diese Ueberpflanzung der Kraft geschieht, begreiflich

finden; nämlich durch die Zwischenwirkung des Drucks, den die El. gegen die umgebende Atmosphäre oder überhaupt die Hindernisse, die sich ihrem Ausströmen entgegensetzen, ausübt.

Siebentes Capitel.

Von der besten Einrichtung der Elektrisirmaschinen und den dazu gehörigen Conductoren.

Gleich bei unsern ersten Untersuchungen über die el. Erscheinungen fanden wir, daß, um sie stärker hervortreten zu lassen, die Reibung mit großen Oberflächen vorgenommen werden müßte. Wir nahmen also eine Scheibe oder einen Cylinder von Glas, bewerkstelligten deren Drehung zwischen zwei festgemachten Reibzeugen mittelst einer Kurbel, und setzten nahe an ihre Oberfläche einen isolirten Metallkörper, der sich mit der El., so wie sie sich entwickelt, bedeckt, um sie zu andern, gleichfalls isolirten, Conductoren fortzuleiten, die sie allenthalben hinführen, wohin es die Versuche erfordern. Jetzt aber, da wir wissen, daß mehrere, so elektrisirte, Körper immer einen Einfluß auf einander ausüben, entsteht die Frage, welches die beste Anordnung für alle Theile des Apparats sey, welche Beschaffenheit die Reibzeuge haben müssen, um die Elektricitätserregung möglichst zu befördern, welche Gestalt man dem ersten Conductor zu geben habe, um die El. schnell einzusaugen, den secundären Leitern, um eine möglichst starke Anhäufung derselben zuzulassen, endlich den isolirenden Trägern, um ihren Verlust möglichst zu verhindern. Dies sind eben so viel wichtige Fragepuncte, deren ausführlichere Erörterung ich in meinem größern Werke gegeben haben: hier begnüge ich mich, die Resultate aufzustellen. Drei Dinge kommen bei dieser Untersuchung in Betracht: die Scheibe oder der Cylinder, das Reibzeug und die Conductoren.

Zuvörderst vom Reibzeug. Wie dieses auch übrigens beschaffen seyn mag, jedenfalls muß es, um eine dauerhafte und ausgedehnte Reibung zu bewirken, sich genau an die Oberfläche der Glasscheibe oder des Glascylinders anlegen, und sie an einer großen Menge von Puncten drücken. Diesem Zweck entspricht nichts besser, als Kissen aus Haaren mit einem Ueberzug von feinem Leder, die durch eine Feder an der Oberfläche des Glases angedrückt werden. Das Leder allein entwickelt jedoch wenig El. bei seiner Reibung am Glase. Ungleich mehr erhält man aber, wenn man seine Oberfläche mit einem

trocknen Amalgam aus zusammengeriebenem Quecksilber, Zink und Zinn überzieht; wo dann eigentlich dies Amalgam den geriebenen Körper abgiebt [1]). Wenn man die Kissen während des Reibens isolirt und untersucht, welche El. das Glas angenommen hat, so findet man sie positiv; mithin nehmen die Kissen die entgegengesetzte, d. i. die negative, El. an; was auch durch die Erfahrung bestätigt wird. Beim gewöhnlichen Gebrauch der Maschine muß man sich jedoch wohl hüten, die Kissen zu isoliren; im Gegentheil hat man sie mit dem Boden durch Metall in leitende Verbindung zu setzen; weil man so weit mehr El. erhält.

Dies Resultat gilt allgemein bei der Elektricitätserregung durch Reibung zweier beliebigen Körper an einander. Jeder derselben vermag in weit höherm Grade el. zu werden, wenn er mit dem andern gerieben wird, während dieser mit dem Boden in leitender Verbindung steht, als wenn beide isolirt sind. Diese Erfahrung ist von großer Bedeutung, da sie mit der Art, wie durch das Reiben die El. hervortritt, in genauem Zusammenhange zu stehn scheint. Aber eben dieses Grundes halber dürfen wir nicht sehr auf eine Erklärung derselben rechnen, weil unsre Theorieen sich nur auf die schon erregte El. erstrecken, und bisher noch über alles, was ihre Entwicklung in den Körpern betrifft, ganz oder fast ganz im Dunkeln sind. Es bleibt somit nichts übrig, als das, was uns die Erfahrung darüber lehrt, auf reine Bestimmungen zu bringen, und daraus die mechanischen Bedingungen herzuleiten, an welche die Elektricitätsentwicklung geknüpft ist. Denken wir uns also zuvörderst zwei isolirte Körper A und B, die, im natürlichen Zustande einander gerieben, der eine eine Quantität + e (pos. El.), der andre eine Quantität — e (neg. El.) erlangen. Letztrer gebe ich das negative Zeichen, um anzuzeigen, daß sie, zur erstern Quantität gefügt, dieselbe neutralisirt. Ohne Zweifel liegt der Bestimmungsgrund dieses Verhältnisses zwischen den Arten und den Mengen der El., die auf jeder der geriebenen Oberflächen haften bleiben, in der Beschaffenheit der beiden Oberflächen und der Macht der Reibung; und wir haben übrigens nicht die geringste Kennt-

---

1) Singer empfiehlt vor allen andern ein Amalgam aus zwei Gewichtstheilen Zinn, vier Zink und sieben Quecksilber. Man erhitzt erst das Quecksilber allein, etwas über 100°, schüttet es in eine hölzerne Büchse, und setzt nun die vorgeschriebenen Mengen der beiden, zuvor in Fluß gebrachten, Metalle hinzu. Darauf verschließt man sofort die Büchse, und schüttelt sie schnell, um eine recht innige Mischung zu bewirken. Ist das Amalgam abgekühlt, so wird es in einem Mörser zu einem feinem Staube zerstoßen; und dieser Staub mit einer hinreichenden Quantität Schweinefett in Form eines Teiges gebracht.

niß, durch welchen Mechanismus diese Erscheinung bedingt wird. Sobald aber einmal die beiden Elektricitäten aus ihrer Verbindung getrennt sind, genießen sie unzweifelhaft ihre, ihnen individuell zukommende, Eigenschaften, stoßen sich demzufolge ihren eignen Theilchen nach ab, und ziehen die Theilchen der entgegengesetzten El. an. Die erste Ursache hat die Wirkung, daß die, auf A entwickelte, + e sich auf B, die auf B entwickelte El. dagegen auf A hin, durch die Berührungspuncte zu verbreiten strebt. Dieses doppelte Bestreben wird noch durch die wechselseitige Anziehung begünstigt, welche + e und — e auf einander ausüben, und kraft deren sie sich zu vereinigen streben. Weil dieser Uebergang und diese Vereinigung nicht zu Stande kommt, so muß die unbekannte Thätigkeit, welche beide Elektricitäten + e und — e nöthigte, sich von einander zu trennen, und einen der beiden Körper besonders zu ihrem Sitz zu machen, auch noch nach dieser Trennung fortwirken, und Stärke genug besitzen, sie geschieden zu erhalten, ungeachtet der beiden Ursachen, welche zu ihrer Vereinigung zusammenwirken. Allem Anschein nach nun äußert sich diese, in der Reibung gegründete, Thätigkeit blos auf der Berührungsoberfläche selbst, und hindert daher nicht, daß sich jede der beiden Elektricitäten + e, — e in dem Körper A oder B, in dem sie ihren Sitz hat, mit dem Grade der Freiheit verbreite, den das größere oder geringere Leitungsvermögen des Körpers gestatten mag. Denn ist B z. B. ein Leiter, und man berührt oder setzt ihn mit dem Boden an verschiednen Puncten der Berührungsfläche in leitende Verbindung, so verschwindet seine — e, und er kehrt in den natürlichen Zustand zurück, ohne daß deshalb der Körper A seinen Ueberschuß von + e verliert; wie wir jederzeit bestätigt sehen können, wenn wir einen isolirten Körper A mit irgend einem nicht isolirten Körper B reiben. Nun läßt sich ganz leicht begreifen, daß bei dieser Lage der Dinge die Reibung auf A eine größere Menge El. entwikeln und erhalten muß, als da B isolirt war. Denn wenn in diesem, zuerst betrachteten, Falle A, + e und B, — e annahm, so mußte, um + e zurückzuhalten, außer der inwohnenden Repulsivkraft ihrer eignen Theile, auch noch ihre Anziehungskraft für — e überwältigt werden; dagegen diese letzte Kraft nicht mehr vorhanden ist, wenn — e in den Boden abgeflossen ist. Aus demselben Grunde, wenn ein und derselbe Körper A successiv an zwei isolirten Leitern B und B′ gerieben wird, die aus demselben Stoff bestehen, eine gleich beschaffne Oberfläche besitzen, aber von ungleichem Volumen sind, so wird durch den größern mehr El. entwickelt werden; denn da die freigewordne El., welche auf B oder B′ haften bleibt, sich über die ganze Oberfläche dieser Körper verbreiten muß, so wird sie bei glei-

cher Quantität eine dünnere Schicht auf dem größern Körper bilden; die inwohnende Repulsivkraft dieser El. an der Berührungsfläche wird mithin geringer auf diesem Körper, als auf dem andern seyn; und es wird demzufolge eine größere Menge dieser El. im Zustande der Trennung darauf verharren können.

Außer diesen allgemeinen Bedingungen kommt bei der, die Reibung der Scheibe der Elektrisirmaschine gegen die isolirten Kissen hervorbringenden, Umdrehungsbewegung noch ein besondrer Umstand ins Spiel, der auch dazu beiträgt, daß die, in diesem Fall erhaltenen, Wirkungen weit schwächer ausfallen, als wenn die Kissen mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser besondre Umstand liegt darin, daß die verschiednen Theile der Scheibe, die successiv durch die Umdrehungsbewegung am Reibzeuge hingeführt werden, zuvor vor dem Ende des ersten Conductors vorbeigegangen sind, wo die positive El., die sie erlangt hatten, ganz oder fast ganz neutralisirt worden ist, so daß sie sich fast vollkommen im natürlichen Zustande wieder befinden, wenn sie abermals zwischen die Kissen treten.[1]) Diese verschiednen Theile sind also eben so viel isolirten Körpern A, von derselben Beschaffenheit und im natürlichen Zustande befindlich, gleich zu achten, die successiv an einem und dem nämlichen isolirten Körper B gerieben werden. Wenn nun durch Wiederholung dieser Reibung in B das Maximum von — e entwickelt ist, welches sich gegen die, dieser El. inwohnende, Abstoßungskraft darauf zu behaupten vermag, so ist klar, daß neue Reibungen mit andern Körpern A von derselben Beschaffenheit keine neue Elektricitätsentwicklung in B zur Folge haben können. Denn, wenn eine neue Quantität — e′ sich entwickelte und mit — e verbände, so würde die, durch die ganze Ladung — e — e′ ausgeübte, Abstoßungskraft den Widerstand überwinden, der sich ihrer Fortpflanzung durch die Berührungsfläche entgegenstellt; und so würden die neuen Quantitäten zersetzter El. sogleich wieder zu natürlicher El. zusammentreten; diesen Erfolg muß denn auch

---

1) Die Art, wie diese Neutralisation vor sich geht, ist leicht zu fassen. Die Theile der Scheibe, welche, mit positiver El. geladen, vor das Ende des ersten Conductors gelangen, zersetzen durch vertheilenden Einfluß dessen natürliche Elektricitäten, stoßen den positiven Theil zurück und ziehen den negativen in die Spitzen an, welche an dem, der Scheibe zunächst befindlichen, Ende des Conductors angebracht sind. Da nun hier dieser negative Theil der El., vermöge der Gestalt der Spitzen selbst, eine große Abstoßungskraft gegen sich selbst erlangt, so durchbricht er die Luftschicht, die ihn von der Scheibe trennt, und neutralisirt dort unmittelbar die daran haftende El. Der nämliche Erfolg würde auch, obwohl minder vollkommen, Statt haben, wenn das, der Scheibe zunächst befindliche, Ende des ersten Conductors, anstatt mit Spitzen versehen zu seyn, blos eine so eckige Form hätte, daß die El. ein freies Ausströmen fände.

das fortgesetzte Reiben der Scheibe an den Kissen der Elektrisirmaschine haben, wenn dieselben isolirt werden. Die Theile der Scheibe, welche zuerst an denselben vorübergehen, entwickeln in ihnen bald alle El., die sich unter dem Einfluß der Reibung darin behaupten kann, wonach die Berührung der folgenden Theile fruchtlos bleibt; die Entwicklung der El. hört auf, so daß die Scheibe dem ersten Conductor nichts mehr zu neutralisiren darbietet, wie oft man sie auch umdrehen mag; dagegen, wenn die Kissen mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, so daß sie beständig im natürlichen Zustande erhalten werden, die Theile der Scheibe, die nach ihrer Entladung durch den ersten Conductor zu ihnen zurückkehren, um sich an ihnen zu reiben, dieselben, so wie sich selbst, immer wieder unter den Bedingungen der ersten Berührung wiederfinden. Sie können also, wie das erstemal, in den Kissen die Zersetzung der natürlichen Elektricitäten hervorrufen, sich mit dem Theil positiver El., welcher zum Gleichgewicht unter diesen Verhältnissen erforderlich ist, laden, und sich abermals neutralisiren, indem sie vor dem ersten Conductor vorbeigehen, von welchem aus die El.*) sich in die secundären Conductoren verbreitet, um sich auf deren Oberfläche den Gesetzen des el. Gleichgewichts gemäß zu vertheilen; und diese fortdauernde Entwicklung positiver El. hört nicht eher auf, als bis die Abstoßungskraft der Totalquantität, die sich so im ganzen System sämmtlicher Leiter verbreitet hat, hinlänglich stark geworden ist, daß ihre Wirkung auf das, der Scheibe zunächst befindliche, Ende des ersten Conductors der entgegengesetzten Wirkung das Gleichgewicht hält, welche von der ebenfalls positiven El. ausgeübt wird, die an den Theilen der Scheibe haftet, welche sich dem ersten Conductor darbieten, nachdem sie zwischen den, mit dem Boden in leitender Verbindung stehenden, Kissen hindurchgegangen sind. Dann kann man die Scheibe drehen, so viel man will, der erste Conductor wird sich nicht stärker laden, oder wenigstens nur soviel annehmen, als zum Ersatz des Verlusts erforderlich ist, den die Berührung der Luft auf allen elektrisirten Oberflächen der Scheibe und des Conductors zur Folge hat.

Aus dieser genauen Analyse der Erscheinungen fließen mehrere wichtige Bedingungen für die Vervollkommnung des Apparats.

1) Müssen die, successiv zwischen die Kissen tretenden, Theile der Glasoberfläche alle El., die sie dabei erhalten, mit dem möglichst

---

*) Nämlich die positive El., welche durch vertheilende Wirkung der, vor dem ersten Conductor vorbeigehenden, Theile der Scheibe in die entfernteren Theile des Conductors zurückgetrieben wird. S. Anmerk. Seite 210.

kleinsten Verlust bis zum ersten Conductor hinbringen. Zu diesem Zweck befestigt man am Reibzeug Streifen von Wachstaffet, die sich über die Oberfläche des Glases nach der Richtung der Scheibendrehung hinweglegen. So wie das Glas el. wird, haften diese Taffetstreifen an seiner Oberfläche, und schützen es vor der Berührung der Luft, bis es vor den ersten Conductor tritt.

2) Der erste Conductor muß eben so viel Arme haben, als Reibzeuge an der Elektrisirmaschine befindlich sind, damit die nämlichen Theile des Glases niemals an einem Reibzeuge hingehen, ohne entladen zu seyn. Gewöhnlich zieht man zwei Reibzeuge F, F′, Fig. 21, in Gebrauch, deren jedes die Scheibe an seinen beiden Oberflächen umfaßt. Man bringt sie an den beiden entgegengesetzten Enden eines und desselben Durchmessers der Scheibe an, und giebt ihnen, um ihre leitende Verbindung mit der Erde sicher zu bewerkstelligen, eine metallne Platte zum Boden, an welche die beiden Enden zweier metallnen Arme AM, AM′ reichen, die von der, gleichfalls metallnen, Drehungsaxe AA′ ausgehen. Es bleibt somit blos noch übrig, diese mit der Erde in leitende Verbindung zu setzen. Zu diesem Zweck befestigt man eine Kette daran, die man auf den Fußboden des Zimmers herabfallen läßt, oder, was bei Weitem vorzuziehen ist, man verbindet sie durch einen Metalldraht mit einem System von Conductoren, welches in irgend einen wasserleitenden Canal seinen Ausgang nimmt. Man giebt auch dem ersten Conductor zwei Arme CB, CB′, deren, der Scheibe zunächst befindliche, Enden mit Spitzen versehen sind, um ein leichteres Ausströmen der negativen El. zu gestatten, die sich in diesen Armen durch vertheilende Wirkung der positiv el. Theile der Scheibe, welche die Drehungsbewegung successiv zu ihnen hinführt, entwickelt. Keineswegs aber darf man auch die entgegengesetzten Enden dieser Arme mit Spitzen versehen, weil diese die, vom Conductor erlangte, El. schnell in die Luft ausströmen lassen würden; vielmehr läßt man dieselben sich in eine dicke Kugel endigen. Ein Conductor von so geringem Umfang würde sich jedoch bald bis zur Sättigung mit einer mäßigen Quantität El. laden. Deshalb setzt man ihn mit einem System isolirter Leiter in Verbindung, bestehend aus langen und dünnen Cylindern, die parallel mit einander aufgehangen werden, Fig. 22. Erfahrung und Theorie sprechen gleich dafür, daß eine solche Anordnung, wenn Länge und Dicke der Glieder in den gehörigen Verhältnissen stehen, am vortheilhaftesten ist, starke Ladungen mit schwachen Spannungen zu erhalten. Man hat hiebei selbst den Vortheil, wenn man aufhört, die Scheibe oder den Cylinder

der Maschine zu drehen, die Gemeinschaft zwischen den secundären und dem ersten Conductor aufheben zu können; wodurch man das schnelle Ausströmen der angesammelten El. durch die Spitzen des ersten Conductors verhütet, wenn die, nicht mehr erneuerte, El. der Scheibe aufhört, sie durch ihre abstoßende Kraft zurückzutreiben.

Es versteht sich, daß der, mit dem Boden in leitender Verbindung stehende, Beobachter, um solche Veränderungen in der Gemeinschaft der Leiter vorzunehmen, dieselben nicht unmittelbar mit der Hand anfassen darf; vielmehr hat er sich dazu der Zwischenwirkung metallner Stäbe zu bedienen, welche an isolirende, mit der Hand zu fassende, Griffe befestigt sind. Um blos eine augenblickliche Gemeinschaft zwischen zwei Leitern zu bewerkstelligen, giebt man gewöhnlich diesen Stäben die Gestalt zweier (sich in Knöpfe A, A', endigenden) Kreisbogen AC, A'C, Fig. 23, die sich mittelst eines Charniers um einen gemeinschaftlichen Mittelpunct C drehen lassen, und jeder mit einem isolirenden Handgriff M versehen sind, der gewöhnlich aus einem, mit Gummilack überzogenen, Glasstabe besteht. Man faßt einen dieser Griffe in die rechte, den andern in die linke Hand, und kann nun, durch Oeffnen oder Schließen des, von beiden Armen gebildeten, Winkels den Abstand AA' beider Enden des Bogens beliebig vergrößern oder verkleinern, und der Entfernung anpassen, in der sich die, in Gemeinschaft zu versetzenden, Leiter von einander befinden. Man nennt dies Instrument einen Auslader (excitateur, excitator electricus), weil man dadurch Leiter zu entladen vermag, in denen El. angesammelt ist, indem man einen Knopf mit dem zu entladenden Leiter, den andern Knopf mit einem, mit der Erde in Verbindung stehenden, Leiter in Berührung bringt. Man braucht als Mittel, eine leitende Verbindung herzustellen, Ketten und Drähte von Metall, die man von einem Leiter auf einen andern herüberhängen läßt, und leicht mittelst Glasstäbe entfernen kann, wenn man die Gemeinschaft wieder aufheben will.

Nach diesen, die zweckmäßigste Gestalt der verschiednen Theile der Elektrisirmaschine betreffenden, Erörterungen bleibt nur noch ein Wort über die Isolirung zu sagen übrig. Begreiflich muß diese für den ersten, so wie für die secundären, Conductoren in möglichst vollkommenem Grade Statt finden, damit sie die, ihnen mitgetheilte, El. lange an sich behalten. Aus diesem Grunde müssen die Träger möglichst lang und dünn seyn. Die des ersten Conductors bestehen gewöhnlich aus Glassäulen, die mit Gummilack zu überfirnissen sind, weil dies Harz weit besser, als Glas isolirt, und nicht so leicht mit Feuchtigkeit beschlägt. Die secundären Leiter werden mit Schnüren an der Decke

aufgehangen; und von Vortheil wäre es, wenn man den obern Theil, dieser Schnüre sich in einen Cylinder von Gummilack endigen ließe. Uebrigens hat man hier nur die, im dritten Cap. erörterten, Grundsätze in Anwendung zu bringen.

Bisher haben wir angenommen, daß die Reibzeuge mit dem Boden in leitender Verbindung ständen und die Conductoren isolirt wären. In diesem Fall ist die El., welche die Conductoren annehmen, positiv. Allein man kann ihnen auch die negative El. ertheilen. Zu diesem Zweck hat man die Arme CB, CB′ des ersten Conductors um ihre Axe CC′ beweglich einzurichten, und eben so auch die beiden Arme AM, AM′, mittelst derer die Reibzeuge mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Um nun dem Conductor die negative El. zu ertheilen, dreht man die Arme so, wie Fig. 24 darstellt, daß die des ersten Conductors, welche isolirt sind, mit den Metallplatten in Berührung kommen, mit denen der Boden der Reibzeuge belegt ist, die dagegen, welche die leitende Verbindung der Reibzeuge mit dem Boden bewerkstelligten, ihre Stelle vor den geriebenen Flächen der Scheibe erhalten. Dann wird die positive El., welche die Scheibe annimmt, durch die negative El. neutralisirt, welche die Arme AM, AM′, unter ihrem vertheilenden Einfluß hergeben; dagegen behält der erste Conductor alle, auf den Reibzeugen entwickelte, negative El. Bei diesem Versuche müssen die Spitzen, mit denen die Arme des ersten Conductors versehen sind, eine solche Stellung erhalten, daß sie sich den Reibzeugen entgegengesetzt oder mit ihnen in Berührung befinden, damit sie ihre negative El. in das System der Leiter entweder unmittelbar und durch Berührung einströmen lassen, oder durch vertheilende Wirkung in denselben hervorrufen können. Ueberdies müssen die Träger, auf welchen die Kissen ruhen, und die gewöhnlich an das Gestell der Maschine befestigt sind, in diesem Fall aus isolirenden Substanzen bestehen, und vermöge ihrer Anordnung eine vollkommene Isolirung gestatten. Endlich wird, wie leicht zu erachten, und wie wir auch als Bedingung angaben, zu einer vollständigen Wirkung noch erforderlich seyn, die beiden metallnen Arme AM, AM′, welche mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, vor die Glasscheibe bringen zu können, um alle positive El. zu neutralisiren, mit der dieselbe bedeckt ist, wenn sie zwischen den Kissen hervortritt. Denn behielte die Scheibe diese El., so würde sich auf ihr keine neue mehr entwickeln, wenn sie ein zweites Mal zwischen die Kissen träte; und der Conductor würde sich somit nur mit einer weit geringern Menge El. laden können.

Achtes Capitel.

Von den Elektroskopen.*)

Die Elektroskope sind, wie schon ihr Name andeutet, Instrumente, bestimmt, die geringsten Quantitäten von El. bemerklich zu machen. Wir haben schon, S. 150, von dem Coulomb'schen Elektroskope gesprochen, einer wahren el. Wage, an der die Aufhängung durch einen einfachen Coconfaden bewerkstelligt wird. Alle andern Elektroskope gründen sich auf das nämliche allgemeine Grundgesetz der Abstoßung zwischen gleichartig elektrisirten Körpern, und der Grad ihrer Empfindlichkeit hängt von der Zartheit und Freiheit der Körper ab, welche die Anzeige dieser Abstoßung zu geben bestimmt sind. Gewöhnlich wählt man dazu zwei lange Strohhalmstreifen, oder zwei dünne Streifen von Blattgold, LL', Fig. 25, die parallel und ganz nahe aneinander an zwei kleinen metallnen Ringen a, a' herabhängen, welche aus einfachen Metalldrähten bestehen, und mit ihrem obern Ende an einem gemeinschaftlichen, gleichfalls metallnen, Schaft befestigt sind, der in einen runden Knopf ausgeht. (Bennetsches Goldblattelektrometer). Vermöge dieser Verkettung von Leitern pflanzt sich alle, dem Schaft T durch den Knopf mitgetheilte, El. zu den Metalldrähten und von da zu den Strohhälmchen oder Goldblattstreifen fort, die sie sogleich durch ihr Auseinanderweichen anzeigen. Da nun aber eigentlich blos der Antheil, in den sich diese getheilt haben, bemerklich gemacht wird, so muß begreiflich der Apparat um so empfindlicher in seinen Anzeigen seyn, je leichter diese Streifen sind, je mehr Freiheit in der Bewegung ihnen die Art ihres Aufhängens verstattet, und in je geringerm Verhältnisse der Schaft T, der blos zur Mittheilung der El. an die Streifen dienen soll, auf seiner Oberfläche selbst El. zurückbehält. Aus letzterm Grunde muß dieser Schaft dünn und sein Knopf sehr klein seyn, obwohl im Verhältniß weit dicker als erstrer. Um die Bewegungen der Luft und Zufälle, durch welche die Strohhälmchen zerbrochen werden könnten, zu verhüten, schließt man den ganzen Apparat in eine viereckige Glasflasche, Fig. 26, ein, deren Hals, der vollkommnern Isolirung halber, mit Gummilack überfirnißt wird. Blos der oberste Theil des Schafts ragt über die Flasche hervor, und man dreht denselben so, daß das

---

*) Will man einen Unterschied zwischen Elektroskop und Elektrometer machen, so wäre es der, daß erstres blos dient, überhaupt die Gegenwart der El. bemerklich zu machen, letztres, zugleich ihren Grad zu messen. Doch braucht man beide Worte gewöhnlich als gleichbedeutend.

Auseinanderweichen der Halme parallel mit einer der Flächen geschieht, auf welche man eine kleine Kreiseintheilung verzeichnet hat, um die Weite des Auseinanderweichens zu messen. Offenbar muß die größere oder geringere Weite ein Zeichen für einen stärkern oder schwächern Grad von El. seyn; da aber die Kraft, mit welcher die Schwere die Halme in die verticale Lage zurückzuführen strebt, in dem Maße zunimmt, als sie schiefer geworden sind, so kann begreiflich die Abstoßungskraft, welche sie auseinander hält, der Weite ihres Auseinanderweichens nicht schlechthin proportional seyn, befolgt vielmehr andre zusammengesetztere Verhältnisse, welche von Gewicht und Gestalt der Halme abhängen; so daß die Theile der Eintheilung, wofern sie selbst untereinander gleich sind, niemals gleichen Graden von El. entsprechen. Ist es also um eine wahre Messung dieser Grade zu thun, so muß man zur Wage oder dem Elektroskop von Coulomb seine Zuflucht nehmen, welches allein den doppelten Vortheil vereinigt, die geringsten el. Kräfte zugleich anzuzeigen und zu messen.

Man kann allen Arten von Elektroskopen die positive oder negative El. beliebig mittheilen, indem man den auswendig befindlichen Knopf ihres Schafts mit einem isolirten, mit der Art El., die man im Sinne hat, geladenen Leiter berührt. Jedoch erreicht man seinen Zweck auch noch auf einem andern Wege, dessen Kenntniß von Nutzen ist, weil man hiebei blos eine Glas- oder Siegellackstange oder sonst einen Körper, der durch Reibung mit einem Stoffe eine bekannte Art El. hergiebt, zu besitzen braucht.

Gesetzt z. B. man wolle den Versuch mit einer Siegellackstange an dem, in Fig. 7 vorgestellten, Coulombschen Elektroskop machen. Während das Scheibchen C noch in Berührung mit der befestigten Kugel A ist, reibe man die Siegellackstange mit einem Katzenfelle, und biete sie von Weitem dem auswendigen Knopfe B des Metallstäbchens AB dar; sogleich wird die Nadel fliehen, und so lange abgestoßen bleiben, als die Stange hingehalten wird. Bei größerer Annäherung der Stange an den Knopf wird die Nadel weiter zurückgestoßen; bei größerer Entfernung rückt sie der unbeweglichen Kugel näher: entfernt man die Stange ganz, so kehrt das Scheibchen zur Berührung mit dieser Kugel zurück und bleibt mit ihr ruhig in Contact.

Alle diese Erscheinungen rühren von vertheilender Wirkung aus der Ferne her. Die El. der Siegellackstange ist negativ. Sie zersetzt die verbundnen El. des Stäbchens AB und der unbeweglichen Kugel A, zieht die positive in den auswendigen Knopf an, stößt die negative in die unbewegliche Kugel zurück so wie in das, damit in Berührung befindliche, Scheibchen C. Dies entfernt sich demnach von der Kugel, als mit ihr gleichartig elektrisirt. Bei größerer Annäherung

der Stange nimmt die Zersetzung der verbundnen Elektricitäten zu; die negative El. der unbeweglichen Kugel wird stärker, und das Scheibchen mithin weiter abgestoßen. Das Gegentheil erfolgt bei größerer Entfernung der Siegellackstange. Nimmt man dieselbe ganz hinweg, so sind nun das Stäbchen und die daran befestigte Kugel der Wirkung ihrer eignen Kräfte überlassen; ihre zersetzten El. vereinigen sich wieder; können sich jedoch nicht vollständig neutralisiren, da die negative El. darin um den ganzen Antheil zu schwach ist, den das Scheibchen an sich genommen hat. Das Stäbchen und die unbewegliche Kugel bleiben also mit einem kleinen Ueberschuß positiver El. geladen, welcher einem eben so großen Ueberschuß negativer El. im Scheibchen entspricht. Nun muß Anziehung erfolgen, und erst im Augenblick der Berührung findet vollkommne Sättigung beider El. Statt.

Dieses wohl verstanden, wird nun nichts leichter seyn, als das Scheibchen und die unbewegliche Kugel in einen dauernd positiv el. Zustand zu versetzen.

Man berühre nämlich den auswendigen Knopf des Stäbchens mit dem Finger und halte ihm von Weitem die Siegellackstange hin; ziehe nun den Finger weg, und nachher erst die Siegellackstange. Während der Berührung zersetzt der vertheilende Einfluß der Siegellackstange einen Theil der natürlichen Elektricitäten des Fingers und des Stäbchens, treibt den negativen Antheil durch den freien Weg, den der Finger darbietet, in den Boden, und hält dagegen den positiven durch Anziehung in dem, der Stange zugekehrten, Theile fest; so daß, wenn das Stäbchen hinlänglich lang ist, das, mit dem andern Ende in Berührung befindliche, Scheibchen nicht weicht. Wird der Finger zurückgezogen, so kann diese positive El. nicht mehr entweichen, und bleibt, wenn dann auch die Stange entfernt wird, frei auf der Oberfläche des Stäbchens und der unbeweglichen Kugel zurück, worauf das Scheibchen abgestoßen wird. Es ist leicht einzusehen, warum der Finger eher als die Siegellackstange zurückgezogen werden muß; widrigenfalls nämlich würde der Ueberschuß positiver El. in den Boden entweichen; oder, was auf dasselbe hinauskommt, er würde sich auf Kosten des Bodens neutralisiren, und alles in den natürlichen Zustand zurückkehren.

Der Beweis, daß dieser Ueberschuß wirklich positiv ist, ergiebt sich leicht durch Beobachtung der Bewegung des Scheibchens. Da es nach der vorausgesetzten Anordnung des Versuchs erst in dem Augenblicke weicht, wo man die Siegellackstange wegzieht, so hat es die nämliche El., als die befestigte Kugel. Man nähere die Siegellackstange dem auswendigen Knopfe von Neuem und zwar mehr, als das erste-

mal, so wird hierdurch die Rückkehr der positiven El. in denselben bewirkt, und überdies eine Zersetzung natürlicher Elektricitäten hervorgerufen werden, von denen die negative in die befestigte Kugel zurückgetrieben wird; sogleich sieht man das Scheibchen nach dieser Kugel zurückkehren, und wenn die Siegellackstange nicht schnell weggezogen wird, zur Berührung mit derselben gelangen. Diese Annäherung unter dem Einfluß der Siegellackstange ist das Zeichen, an welchem man jedesmal erkennen kann, daß das Scheibchen und die unbewegliche Kugel beide mit positiver El. geladen sind. Stellt man diesen Versuch, statt mit einer Siegellackstange, mit einer Glasröhre an, die mit einem Katzenfell oder einem Stück Wollenzeug gerieben worden ist, so wird man eben so dem Scheibchen und der unbeweglichen Kugel negative El. mittheilen können.

Jedoch kann man den nämlichen Erfolg auch durch die Siegellackstange hervorbringen. Man nehme z. B. eine dünne Glasröhre tt, Fig. 27, befestige senkrecht an das Ende derselben mit weichem Wachs einen Metalldraht ff von zwei bis drei Decimetern Länge; und berühre mit dem so isolirten Drahte den äußern Knopf des Elektroskops, in der Richtung, daß er in die Verlängerung des Stäbchens AB fällt. Darauf halte man in einiger Entfernung die geriebene Siegellackstange hin; ziehe erst den Hülfsdraht, nachher die Stange weg: das Stäbchen mit der daran befestigten Kugel werden sich alsdann mit einem Ueberschuß negativer El. geladen finden. Denn nach der Art, wie der Versuch angestellt wurde, ist fast alle, in dem System zersetzte, positive El. in den Hülfsdraht ff angezogen worden, welcher sich der Siegellackstange zunächst befand. Wirklich zeigt dieser Draht, wenn er weggezogen wird, einen Ueberschuß positiver El.; woraus folgt, daß das Stäbchen mit der daran befestigten Kugel des Elektroskops, welche mit dem Draht in unmittelbarer Verbindung standen, den zur Ausgleichung jenes Ueberschusses erforderlichen Ueberschuß negativer El. besitzen.

Daß dem so sey, läßt sich dann auch leicht durch die Bewegungen des Scheibchens nachweisen. Denn dies kehrt hier, nach Entfernung der Siegellackstange, nicht von selbst zu der befestigten Kugel zurück, wie beim vorigen Versuch; sondern bleibt davon entfernt, ungeachtet der Kraft der Drehung, die es dahin zurückzuführen strebt; ja es wird sich noch weiter davon entfernen, wenn man die Siegellackstange dem äußern Knopf des Elekroskops von Weitem darbietet, weil der vertheilende Einfluß der Stange die Anhäufung der negativen El. in der unbeweglichen Kugel vermehrt. Diese Entfernung unter dem Einfluß der geriebenen Siegellackstange ist das Zeichen, an welchem sich jedesmal erkennen läßt, daß Scheibchen und Kugel beide

mit negativer El. geladen sind. Stellt man den Versuch auf die nämliche Art mit einer Glasröhre an, die an einem Stück Wollenzeug gerieben wurde, so erfolgt eine Mittheilung positiver El. an das Elektroskop.

Hieraus wird nun begreiflich seyn, warum es zweckmäßig ist, dem Hülfsdraht eine Länge von einem bis zwei Decimeter zu geben: eine solche Länge nämlich gestattet eine leichtere Scheidung der verbundnen Elektricitäten, und ein leichteres Entziehen einer derselben; aus demselben Grunde wird es von Nutzen seyn, das metallne Stäbchen AB des Elektroskops ungefähr von derselben Länge zu nehmen. Immer darf es nur sehr dünn seyn und nur in Knöpfe von sehr geringem Volumen ausgehen, damit, bei so geringer Ausdehnung seiner Oberfläche, auch sehr schwache Elektricitätsmengen eine hinlängliche Repulsivkraft darin aufregen können, um das Scheibchen der beweglichen Nadel in Flucht zu setzen, worauf eine der wesentlichsten Eigenschaften des Apparats beruht.

Die hier erörterten Verfahrungsarten, nach Willkühr positive oder negative El. zu ertheilen, finden ihre Anwendung auf alle Arten von Elektroskopen. Alles, was wir in Bezug auf das Scheibchen und die befestigte Kugel gesagt haben, ist auch gültig für die Strohhälmchen oder Goldblattstreifen, welche durch die Abstoßungskraft von einander entfernt werden: auch in diesen entwickelt man durch vertheilenden Einfluß die eine oder die andre El.; und die nämlichen Zeichen dienen, wenn sie schon geladen sind, die Beschaffenheit der El. auszumitteln, von welcher ihre Divergenz abhängt. Jedoch hat man hierbei noch eine Vorsichtsmaßregel mehr, als bei dem Coulombschen Elektroskop, zu beobachten: nämlich man darf den elektrisirten Körper nur langsam und erst von Weitem hinhalten, als wenn man gewissermaßen ein Vorgefühl von der Beschaffenheit der El. erhalten wollte. Denn wenn die Strohhälmchen oder Streifen z. B. vermöge positiver El. divergiren, und man dem Schaft des Elektroskops eine, an Wollenzeug geriebene, Siegellackstange nähert, so wird außer der Anziehung, welche diese Stange auf den, im Schaft und den Halmen verbreiteten, Ueberschuß positiver El. ausübt, noch eine Zersetzung verbundner Elektricitäten vor sich gehn; und die, mit der der Siegellackstange gleichnamige, d. i. negative, El. in die Halme zurückgetrieben werden. Ist nun dieser Antheil mehr als hinreichend, die ihnen noch gebliebene schwache positive El. zu neutralisiren, so werden sie von Neuem divergiren, aber vermöge negativer El.; und der Uebergang einer Abstoßungsart in die andre wird manchmal so schnell erfolgen können, daß er gar nicht wahrgenommen wird, welches zu dem Irrthum verleiten kann, die ursprüngliche Divergenz auf Rechnung

negativer El. zu schreiben. Hievor sichert man sich, wenn man die Siegellackstange langsam nähert, indem man dadurch Zeit erhält, die Schwächung der ersten Abstoßung vor dem Eintreten der zweiten darauffolgenden zu beobachten.

Unter allen Elektroskopen ist das Coulombsche am leichtesten zu verfertigen; es ist zugleich das empfindlichste, und behält am längsten die ihm ertheilte El. Vermöge dieser Vorzüge eignet es sich ausnehmend zu feinern Untersuchungen; wie sich bald durch auffallende Belege ergeben wird.

Neuntes Capitel.

Vom Verschwinden der Elektricität durch Binden *) derselben.

Jetzt, nachdem wir zu einer vollständigen und sichern Theorie der Wirkungsart der El. gelangt sind, wird uns auch das Verständniß einiger Instrumente leicht fallen, welche dieser Wirkung mehr Stärke und Dauer verleihen, indem sie entweder, vermöge vertheilender Wirkung einer El. von entgegengesetzter Beschaffenheit, alle El. eines Systems von Leitern in einen einzigen Punct zusammenziehen, oder indem sie durch fortdauernde vertheilende Wirkung einer und derselben Quantität von El. successiv die Trennung der verbundnen Elektricitäten verschiedner, in ihren el. Wirkungskreis gebrachter, Leiter bewerkstelligen. Die Beschreibung dieser Apparate allein wird beinahe schon genügen, ohne Weiteres die Einsicht in ihre Theorie zu gewähren.

Der Condensator.

Wenn ein isolirter und im natürlichen Zustande befindlicher Leiter A mit einem System elektrisirter Leiter oder einer dauernden Quelle von El. in Berührung gebracht wird, so ladet er sich mit einer

---

*) Unter gebundner El. versteht man überhaupt solche, die durch Anziehung der entgegengesetzten El. an irgend einer Stelle festgehalten wird, und weil sie umgekehrt mit ihrer ganzen Kraft auf deren Festhaltung wirkt, keine andre Wirkung nach Außen zeigt; daher für die Erscheinung gerade so, wie neutralisirte El. verschwindet. Das Binden muß insofern jedesmal wechselseitig geschehen. Es kann aus der Ferne oder in unmittelbarer Berührung Statt haben. Die neutralisirten, verbundnen oder natürlichen Elektricitäten lassen sich als solche ansehen, die sich in demselben Puncte binden, und umgekehrt gebundene El. als solche, die sich aus der Ferne neutralisiren.

bestimmten Menge El.; nähert man ihm aber während dessen einen andern, im natürlichen Zustande befindlichen, Körper B, der mit der Erde in leitender Verbindung steht, so wird die Gegenwart desselben bewirken, daß er eine weit stärkere Ladung annimmt. Die El. nämlich, mit welcher sich A anfänglich bedeckt hatte, wirkt, bei Annäherung von B, vertheilend auf dessen verbundne Elektricitäten, treibt die gleichnamige in den Boden zurück, zieht die ungleichnamige an, und hält sie fest oder bindet sie an der, A zunächst befindlichen, Oberfläche von B. Aber in Folge eben dieser Anziehung wird das Gleichgewicht in dem System von Leitern, mit welchen A in Verbindung steht, aufgehoben. Eine neue Quantität freier Flüssigkeit strömt also nach A hin*), welche eine neue Zersetzung von Flüssigkeit auf B zur Folge hat, und dies so fort, bis die, auf A angehäufte, Flüssigkeit sich in Gleichgewicht zwischen der Abstoßungskraft, die sie auf sich selbst ausübt und der Anziehungskraft, mit der die Flüssigkeit in B sie zurückzuhalten strebt, befindet.

Alle diese Erscheinungen, welche die Theorie vorausbestimmt, finden sich durch die Erfahrung bestätigt.

Man ertheile den großen Conductoren der Maschine eine schwache El., nehme darauf eine Metallplatte A, Fig. 28, hänge sie mit ihrem Haken C an einem Glasstabe M auf, um sie isolirt halten zu können, und bringe so ihren Haken mit den Conductoren in Berührung. Die Platte nimmt hiebei eine kleine Quantität El. auf, welche, nach Entfernung der Platte vom Conductor, den Hollundermarkkugeln eines isolirten, aus zwei leinenen, an einem Kupferstiel aufgehangenen, Faden bestehenden Elektroskops einen gewissen Grad der Divergenz zu ertheilen vermag.

Nach dieser Operation haben die Conductoren eine so geringe Quantität El. verloren, daß man sie für fast noch eben so stark als zuvor geladen halten kann; man wiederholt jetzt die Berührung nach voriger Art, aber so, daß man zugleich unter der isolirten Platte A eine andre Platte B hält, welche mit dem gemeinschaftlichen Behälter der El. in leitender Verbindung steht, Fig. 29, und zwar wird B so lange hingehalten, bis die Berührung der ersten Platte A mit den Conductoren wieder aufgehoben ist. A wird nun eine weit stärkere El. erlangt haben, als das erstemal, wie man sich überzeugen kann,

---

*) Nämlich weil die Kraft der El. in A durch Anziehung der entgegengesetzten El. von B beschäftigt wird, so wirkt sie nicht mehr so stark abstoßend auf die ihr gleichartige El. in dem System der Leiter, das mit A in Verbindung steht, und deshalb verbreitet sich von dieser, wegen der nun allein wirksamen Repulsivkraft ihrer Theile, eine neue Menge derselben auf A.

indem man sie abermals dem Elektroskop darbietet. Es versteht sich, daß man A von den Conductoren noch unter den Einfluß von B zurückziehen muß; denn zöge man B eher weg, so würde die, in A angehäufte, Flüssigkeit sogleich in das System der Leiter zurückkehren, um sich wieder in ihr voriges Gleichgewicht zu setzen.

Stellt man diesen Versuch so an, daß man die Platte B erst ganz entfernt von A hält, dann allmälig immer mehr nähert, endlich ganz nahe bringt, so findet man, daß die Ladung von A immer stärker wird. Auch muß dies der Theorie nach so seyn; denn die gegenseitige Anziehung der El. von B und von A muß in dem Maße zunehmen, als die Entfernung zwischen beiden Platten abnimmt; und das Maximum der Ladung würde mithin in dem Falle Statt haben, wo die Entfernung zwischen beiden Platten vollkommen null wäre. Da man sie jedoch einander nicht so weit nähern kann, ohne einen Funken durch die sie trennende Luftschicht hervorzulocken, so bringt man zwischen sie einen ganz dünnen Körper, welcher der El. schwer den Durchgang verstattet, an, z. B. eine Glasplatte, ein Stück Wachstaffet oder eine dünne Harzschicht. Unter Beobachtung dieser Vorsichtsmaßregel kann man die Entfernung beider Platten fast bis zu beliebigem Grade vermindern. Die Instrumente, welche eine solche Einrichtung haben, führen den Namen Condensatoren.

Der Condensator mit einer Glasplatte beschlägt leicht mit Feuchtigkeit, die sich gern an das Glas anhängt, und der Vollkommenheit der Isolirung Eintrag thut: der Condensator mit Wachstaffet gewährt keine unter sich selbst vergleichbare Resultate, weil der stärkere oder schwächere Druck der Platten auf den Taffet ihre Entfernung und mithin auch die Intensität der Verstärkung abändern kann. Am meisten vorzuziehen sind die Condensatoren, bei welchen die Platten blos durch eine, auf jede besonders aufgetragene, Schicht eines Harzfirnisses geschieden sind. Man muß nur Sorge tragen, die Platten nicht aneinander zu reiben, wenn man sie über einander legt; denn hiedurch würde in der Harzschicht Elektricität hervorgerufen werden, die sehr fest an ihrer Oberfläche haften bliebe, und bei feinern Untersuchungen zu Irrthümern Anlaß geben könnte. Zu bequemerm Gebrauch dieser Instrumente, giebt man der Platte B einen massiven Fuß von Metall, und befestigt an die obere Fläche von A einen isolirenden Handgriff M von gefirnißtem Glase. Der ganze Apparat ist in Fig. 30 vorgestellt. Will man sich desselben bedienen, so legt man die Platten über einander, berührt die untere B mit dem Finger, um sie mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen, und setzt dann die elektrisirten Körper mit dem Knopfe a eines Metalldrahts in Berührung, der an die obere Platte A befestigt ist, welche den Namen des Collectors

oder der Sammlungsplatte führt, weil sie es in der That ist, welche sich mit der El. der Körper ladet, mit denen man sie in Verbindung setzt. Nach aufgehobener Berührung mit diesen Körpern setzt man den Fuß des Condensators auf einen festen Tisch; und hebt, während man ihn fest gegen diesen gedrückt erhält, den Collector an dem isolirenden Handgriff M ab, worauf man die El. prüft, mit der er sich geladen hat. Man muß Sorge haben, die Platten in einer, auf ihre Fläche senkrechten, Richtung von einander zu trennen; denn trennte man sie in einer schiefen Richtung, so würde die El. des Collectors sich nach dem, B zunächst gekehrten, Rande begeben, und vermöge ihrer Anhäufung daselbst einen Funken hervorbringen können, der die Firnißschicht durchbräche und das plötzliche Entladen des Condensators zur Folge hätte. Dies ist der Grund, warum der Fuß des Instruments während des Abhebens des Collectors recht fest gehalten werden muß; denn die Adhäsion beider Platten an einander läßt sie leicht schief über einander hingleiten. Auch muß man sich hüten, diese Instrumente über den Grad des Widerstands hinaus zu laden, den die doppelte isolirende Schicht, welche beide Platten trennt, zu leisten vermag; widrigenfalls durchbrechen die, in den Platten angehäuften, Elektricitäten ihre Zwischenschicht, und vereinigen sich durch einen Entladungsschlag, wie durch die Luft hindurch. Sehr leicht ereignet sich dieser Fall bei dem Condensator mit gefirnißten Platten, weshalb man ihn für sehr schwache Elektricitätsgrade aufsparen muß. Soll die Ladung stark seyn, so muß man sich des Condensators mit der Glasplatte bedienen. Wenn jedoch dessen Platten nicht stark gefirnißt sind, so verbreitet sich der größte Theil der angehäuften El. über das Glas und bleibt daran haften, so daß sie beim Abheben des Collectors diesem nicht folgt. Man kann diesem Uebelstande dadurch abhelfen, daß man auf der Oberfläche jeder Platte eine dünne Glasscheibe befestigt, welche die El. hindert, diese Oberfläche zu verlassen. Damit jedoch das System starke Ladungen zurückzuhalten fähig sey, muß man seitliche Entladungen verhindern, indem man den Glasscheiben einen größern Durchmesser als den Platten giebt, und den Theil ihrer Oberfläche, der über den Platten vorsteht, mit einer starken Schicht eines gut isolirenden Firnisses [1]) überzieht.

---

1) Ein solcher Firniß läßt sich sehr leicht durch Auflösung von Siegellack in Alkohol erhalten. Man pulverisirt es zu diesem Zweck und läßt es einige Tage im Alkohol. Durch Erwärmung des letztern wird der Vorgang beschleunigt. Um von dieser Auflösung Gebrauch zu machen, erwärmt man das Glas, oder überhaupt die Substanz, auf welche sie aufgetragen werden soll, mäßig, und breitet sie mit einem Pinsel darüber aus. Der Alkohol verdunstet an der Luft und läßt die Siegellackschicht zurück. Diese kann man

Wenn die eine Metallfläche eines solchen Condensators mit einer in Gang gesetzten Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während die andre leitende Gemeinschaft mit dem Boden hat, so befindet sich letztre in der That ganz unter den nämlichen Umständen, als wenn man sie, ganz nahe an einen sehr stark elektrisirten Leiter ohne einen Entladungsschlag zu veranlassen, hätte zu bringen vermocht. Nothwendig muß durch die Vereinigung dieser Umstände eine sehr kräftige Entladung begünstigt werden. Wirklich, wenn man mit einer Hand den Fuß des Condensators faßt, wodurch man seines el. Zustandes theilhaftig wird, und mit der andern den Collector berührt, so entladen sich die angehäuften El. und vereinigen sich mit vieler Gewalt durch den Körper hindurch, was in allen Organen desselben eine um so stärkere Erschütterung hervorbringt, je größer der Condensator ist, je stärker er geladen war, und in je größerer Annäherung sich seine Platten befanden. Diese Erschütterung pflanzt sich mit abnehmender Stärke durch eine Kette fort, welche von mehrern, sich an der Hand fassenden Personen gebildet wird, und ihre Schwächung rührt unstreitig von dem Widerstande her, welchen diese Körper, die keine vollkommnen Leiter sind, dem Durchgang der el. Flüssigkeiten entgegensetzen.

Die ganzen Vorgänge in den Condensatoren lassen sich nach folgendem Grundsatze berechnen, der zugleich die Art und die Gränzen der durch sie bewirkten Anhäufung angiebt. Die El. A, welche in den Collector gebracht worden ist, bindet aus der Ferne einen Theil entgegengesetzter El. — B *) in der untern, mit dem Boden in Verbindung stehenden, Platte, und hindert sie, zu entweichen. Diese dagegen für ihr Theil bindet gleichfalls einen Theil A′ der El. des Collectors und raubt ihm seine Expansivkraft. Der Collector befindet sich also ganz in demselben Fall, als wenn er blos A — A′ freie El. besäße; er muß demzufolge fortfahren sich zu laden, bis diese Quantität (A — A′) derjenigen gleich ist, welche er den Leitern, mit denen er in Verbindung steht, unmittelbar entzogen haben würde, wenn er allein, außer dem Einfluß der untern Platte, mit ihnen in Berührung gebracht worden wäre. Das Verhältniß von A zu — B und von — B zu A′ hängt von dem mehr oder minder beträchtlichen Abstand ab, der zwischen den Platten Statt findet. In jedem Fall

---

noch mit einer zweiten, einer dritten überziehen u. s. f. Einen noch besser isolirenden Firniß erhält man durch Auflösung von Gummilack anstatt von Siegellack in Alkohol.

*) Das negative Zeichen — drückt aus, daß die El. B der El. A entgegengesetzt ist.

aber muß — B, ohne Rücksicht auf sein Vorzeichen, schwächer seyn, als A, so daß, wenn A positiv und B negativ ist, beide mit einander in Berührung gebracht, einen Ueberschuß positiver El. geben müssen. Denn die Anziehung der Molecule von + A gegen — B muß in der Entfernung geringer seyn, als in der unmittelbaren Berührung; da sie nun durch die isolirende Schicht hindurch — B binden und ihm seine natürliche Expansivkraft rauben, so müssen sie durch ihre Zahl das ersetzen, was ihnen an Stärke der Wirkung abgeht. Wir werden mithin immer B als einen Bruch von A auszudrücken haben. Um von einer festen Vorstellung auszugehn, wollen wir z. B. B gleich $\frac{99}{100}$ von A annehmen, und den Folgerungen aus dieser Voraussetzung nachgehen.

Eben so wie + A durch die Dicke der isolirenden Schicht hindurch — B bindet, so giebt es umgekehrt in A einen Theil A', der von — B gebunden wird; und da — B ganz unter denselben Umständen, als + A wirkt, so wird es auch eine, zu ihm in demselben Verhältniß stehende, Quantität El. binden müssen; d. i. $\frac{99}{100}$ B. A' also wird gleich $\frac{99}{100}$ von B seyn; und da B selbst gleich $\frac{99}{100}$ von A ist, so folgt, daß A' gleich $\frac{99}{100} \times \frac{99}{100}$ von A d. i. $\frac{9801}{10000}$ A seyn wird. Der Ueberschuß von A über A', der den, auf dem Collector frei gebliebenen, Antheil El. ausdrückt, wird also A — $\frac{9801}{10000}$ A d. i. $\frac{199}{10000}$ A seyn; ein Bruch, der fast genau gleich $\frac{1}{50}$ A ist, mithin wird diese Platte fortfahren müssen, sich mit El. zu laden, bis der 50ste Theil ihrer Ladung der Quantität gleich kommt, die sie von selbst den nämlichen Leitern entziehen würde, wenn man sie denselben allein und ohne den Einfluß der untern Platte darböte. Unter diesem Einfluß also wird ihre Ladung 50 mal so stark erfolgen, als wenn sie für sich geladen würde.

Aus der Herleitung, von welcher wir hier Gebrauch gemacht haben, ergiebt sich, daß im Allgemeinen die condensirende Kraft des Instruments von dem Bruch abhängt, der das Verhältniß, in dem sich die Elektricitäten auf seinen beiden Oberflächen wechselseitig aus der Ferne binden, ausdrückt. Je näher dieser Bruch der Einheit kommt, um so mehr werden die Elektricitätsmengen, welche sich durch die isolirende Schicht zu binden vermögen, sich der Gleichheit nähern, und um so Weniger wird der Ueberschuß frei bleibender El. auf dem Collector betragen. Das Verhältniß dieses Ueberschusses zur Totalladung des Condensators wird sich immer, wie in dem vorigen Beispiel, berechnen lassen; und kehrt man dies Verhältniß um, so wird man das Maß der Condensation haben.

Dies setzt eine Kenntniß vom Werthe des Bruches voraus, der

das Bindungsverhältniß beider Platten ausdrückt. Hiezu läßt sich durch die Erfahrung gelangen. Zu diesem Zweck isolire man das Instrument und lade seinen Collector mit irgend einer Quantität El., während die untere Platte mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Darauf unterbreche man diese Verbindung, und hebe die Platten, während sie so isolirt sind, genau parallel mit einander, zugleich mit ihren isolirenden Schichten, von einander ab, indem man sie an ihren gläsernen Handhaben faßt. Darauf bringe man das Prüfungsscheibchen auf jede derselben an einen ähnlich gelegenen Punct, z. B. an ihren Umkreis, und messe mit der Drehwage die Ladungen, die das Scheibchen von der einen wie von der andern Platte aufgenommen hat. Sie werden den Dicken der el. Schichten an den Berührungspuncten proportional seyn, mithin auch den Totalquantitäten von El. in beiden Platten, weil diese von gleicher Größe und die Berührungspuncte als ähnlich gelegen angenommen sind. Stellt nun die Ladung, welche das Prüfungsscheibchen vom Collector aufgenommen hat, A vor, so wird die, welche ihm durch die untere Platte ertheilt worden ist, — B vorstellen; und das Verhältniß letztrer zur erstern wird den Bruch geben, der das Verhältniß, in dem sich die Elektricitäten beider Platten binden, ausdrückt; woraus man denn durch Berechnung das Maß der condensirenden Kraft wird herleiten können. Diese Methode ist sichrer, als wenn man das Verhältniß der Condensirung direct auszumitteln sucht, was so geschehen könnte, daß man mittelst des Prüfungsscheibchens die Ladungen vergliche, die der Collector von dem nämlichen Systeme von Leitern erhält, wenn er allein, und wenn er unter dem Einfluß der andern Platte ist. Denn zur Genauigkeit dieser Vergleichung wäre erforderlich, daß die Leiter in beiden Fällen genau denselben Grad der Ladung besäßen, wofür sich niemals stehen läßt.

Unangesehen die condensirende Kraft, welche durch die angegebenen Umstände bestimmt wird, hängt die absolute Wirkung eines Condensators noch von der absoluten Menge El. ab, welche der Collector den ihn ladenden elektrisirten Leitern entzieht, wenn er allein mit ihnen in Berührung gebracht würde. Nun muß, unter übrigens gleichen Umständen, diese Menge mit der Oberfläche des Collectors zunehmen. Condensatoren von größerem Durchmesser werden demnach mehr El. anhäufen als solche von geringerm Durchmesser, und mithin auch bei ihrer Entladung stärkere Schläge ertheilen; womit die Erfahrung in Uebereinstimmung ist.

Dieses wechselseitige Binden, auf das wir unsre Rechnungen gegründet haben, kann durch folgenden Versuch wahrnehmbar gemacht werden. Man lade einen Condensator mit einer Glasplatte, während die untere Platte mit dem Boden in Verbindung steht, isolire

darauf den ganzen Apparat und berühre jetzt erst die untere Platte; man wird keine El. daraus erhalten, zum Zeichen, daß alle darin vorhandne durch Binden zum Verschwinden gebracht ist. Man berühre nun die obere Platte, sie wird einen Funken geben; allein deshalb wird noch nicht alle ihre El. entwichen seyn, sie wird vielmehr noch einen bedeutenden Antheil davon zurückbehalten. Auch dieser Antheil war also gebunden. Um ihn zur Wahrnehmung zu bringen, berühre man abermals die untere Platte. Diesmal wird sie einen Funken geben; weil nicht alle ihre El. mehr gebunden ist; denn ein Theil der El. im Collector, welche sie aus der Ferne band, ist ja entfernt worden. In Folge dieser neuen Berührung wird nun aber wieder ein neuer Theil der El. im Collector frei, dieser giebt also abermals einen Funken, und dies abwechselnd so lange fort, bis beide Platten vollständig entladen sind. Es ist leicht, das Gesetz dieser Progression durch den Calcul nach dem constanten Verhältniß auszumitteln, welches zwischen den, sich wechselseitig auf beiden Platten bindenden, Elektricitätsmengen Statt findet. Es ergiebt sich daraus, daß die erste Berührung mehr El. entzieht, als die zweite; diese mehr als die dritte u. s. f., so daß die ihr entzogenen Quantitäten eine abnehmende geometrische Progression befolgen, deren Exponent das Bindungsverhältniß ist.

Berührt man beide Platten zu gleicher Zeit, so pflanzen sich die sämmtlichen Quantitäten El., die durch abwechselnde Berührung successiv aus beiden Platten hätten hervorgelockt werden können, in einem Augenblick durch die Organe hindurch fort; und der Condensator ist mit einem Schlage entladen.

Ich habe oben angeführt, daß in dem Condensator mit einer Glaszwischenlage und unbelegten Platten der größte Theil der angesammelten Elektricitäten nicht an der Oberfläche der Platten haften bleibt, sondern sich an die beiden Gegenflächen des Glases festhängt. Dann besteht die ganze Wirkung der Platten eigentlich blos darin, eine frei leitende Verbindung zwischen den verschiednen Puncten jeder der beiden Flächen dieser Glaslage zu bewerkstelligen, so daß die El. sich leicht über dieselben ausbreiten, und eben so im Augenblick des Entladens von allen ihren Puncten zugleich entweichen kann. Daß dies sich so verhalte, läßt sich leicht durch die Erfahrung nachweisen. Zu diesem Zweck stelle man einen solchen Condensator, nachdem man ihn geladen hat, auf ein Isolatorium; hebe dann mittelst einer isolirenden Handhabe die obere Platte mit der Hand ab, sie wird bei der Berührung nur einen schwachen Funken geben, und die Expansivkraft wird auf die andre Platte übergehen. Darauf hebe man auch die Glaslage ab, indem man sie an einer Ecke faßt, und berühre nun die

untere Platte; sie wird auch einen, aber ebenfalls nur sehr schwachen, Funken geben. Die angehäuften El. müssen also an den beiden Flächen der Glasplatte hängen geblieben seyn; und wirklich, wenn man sie wieder zwischen die beiden isolirten Platten legt, ohne einem Theil des Systems eine neue Quantität El. zu ertheilen, wird sich der Condensator von selbst fast eben so stark geladen wiederfinden, als das erstemal. Oder auch, anstatt das Glas wieder zwischen beide Platten des Condensators zu bringen, lege man seine Hände unmittelbar auf die beiden Gegenflächen desselben auf, so daß es in einer großen Zahl von Puncten davon berührt wird; man wird einen Entladungsschlag fühlen, als wenn das Glas zwischen den Platten gelegen hätte, weil die Ausdehnung, in der es von den Händen berührt wird, vielen Puncten an beiden Oberflächen auf einmal sich zu entladen gestattet. Fährt man aber, anstatt die Glasflächen mit ausgebreiteten Händen zu berühren, blos mit den Fingerspitzen darüber hin, so wird man nur ein Knistern und eine, sich auf die berührten Puncte beschränkende, Entladung empfinden; auf jeden Fall wird keine allgemeine Entladung eintreten, und man nicht Gefahr laufen, sich starken Erschütterungen auszusetzen.

Aepinus, welchem man eigentlich die Erfindung des Condensators verdankt, hat einen Versuch angestellt, der gewissermaßen das Umgekehrte des vorigen ist, und aufs Deutlichste zeigt, wozu eigentlich die isolirende Zwischenlage zwischen beiden Platten dient. Er wählte als Platten zwei große runde, mit Stanniol belegte, Holzscheiben, näherte sie einander parallel, ohne einen andern Zwischenkörper zwischen ihnen zu lassen, als die, sie trennende, Luftschicht, und setzte die obere Scheibe mit den Leitern einer Elektrisirmaschine in Verbindung, während die untere mit dem Boden in leitender Gemeinschaft stand. Dieser Apparat war, wie leicht ersichtlich, ein wahrer Condensator, in dem die Luftschicht die Stelle der isolirenden Zwischenlage vertrat; auch lud er sich nach Art eines Condensators, und brachte ebenfalls eine Erschütterung hervor, wenn man mit der einen Hand die obere und zugleich mit der andern die untere Scheibe berührte. Um starke Wirkungen durch einen solchen Apparat zu erhalten, muß man sich großer Scheiben bedienen; denn da sie so weit von einander entfernt gehalten werden müssen, daß kein Funke unmittelbar die Luftschicht zwischen ihnen durchbrechen kann, so muß die Größe ihrer Oberflächen das ersetzen, was ihrer condensirenden Kraft an Stärke abgeht. Auch scheint diese Größe eine Ursach zu seyn, welche bei paralleler Annäherung der Scheiben das Ueberspringen des Funkens minder leicht zu Stande kommen läßt, indem sie gewissermaßen die entgegengesetzte Wirkung als die Spitzen äußert. Der einzige Un-

terschied zwischen diesem Apparat und dem gewöhnlichen Condensator liegt darin, daß bei ersterm den Oberflächen der isolirenden Lage nur insofern ein wirkliches Daseyn zukommt, als die beiden Scheiben einander genähert sind, da diese Oberflächen hier nur durch die Begränzungen der Luft an den einander zugekehrten Flächen der Scheiben gebildet werden.

Obschon, wie gesagt, Aepinus den Condensator eigentlich entdeckt, und die wahre Theorie desselben gegeben hat, wie man sich aus seinem Werk überzeugen kann, so gebührt doch Volta das Verdienst, ihm erst seine wahre Nutzbarkeit gegeben zu haben, indem er ihn mit dem Elektroskop verband, und dadurch fähig machte, die schwächsten Quellen der El. zu entdecken und wahrnehmbar zu machen.

Oft nämlich stößt man bei physikalischen Untersuchungen auf Quellen der El., die dieselbe nur bei einem sehr schwachen Grade der Repulsivkraft zu entwickeln fähig sind, und nach Erreichung dieser Gränze mit der Entwicklung einhalten; wenn man ihnen aber die einmal erregte El. entzieht, dieselbe von neuem bis zu jener Gränze erzeugen. Bald werden wir hievon mehrere Beispiele sehen. Gesetzt nun man bringe eine solche beständige Quelle mit dem Collector eines Condensators, dessen isolirende Zwischenlage ausnehmend dünn ist, z. B. blos aus einer einfachen Firnißschicht besteht, in Verbindung; so wird sich offenbar die El. der Quelle im Condensator anhäufen, bis die Quantität der, als freier Ueberschuß darin bleibenden, El., der Quantität gleich kommt, welche der Collector unmittelbar, ohne den Einfluß der untern Platte, von der Quelle aufgenommen haben würde. Diese Quantität heiße E. Trennt man nach Erreichung dieser Gränze den Condensator von der Quelle, und hebt den Collector ab, so wird seine Ladung gleich E, multiplicirt mit der condensirenden Kraft, seyn, diese Ladung wird also, wie schwach immer E seyn mag, bemerklich werden können, wenn das Verhältniß, in dem sich die Elektricitäten des Condensators binden, durch einen, von der Einheit sehr wenig unterschiednen, Bruch ausgedrückt wird, d. i., wenn die Entfernung der Platten des Condensators von einander sehr gering ist, eine Bedingung, die durch Anwendung der Firnißschicht vollkommen erreicht wird.

Um die Anzeigen dieses Instruments mit denen das Strohhalm-Elektroskops, dessen sich Volta gewöhnlich als des tragbarsten und bequemsten bedient, zu vereinigen, schraubt man den Knopf oben vom Schaft ab, und bringt an seine Stelle die untere Platte des Condensators, Fig. 31, die dann durch die Glaswände des Elektroskops isolirt ist. Man setzt sie unmittelbar durch einen Metalldraht mit der beständigen Elektricitätsquelle in Verbindung, und berührt blos die obere Platte, um ihre Gemeinschaft mit dem Boden zu bewerkstel-

ligen. Bei dieser Anordnung vertritt die untere Platte die Stelle des, die El. sammelnden, Collectors. Hält man dieselbe für hinlänglich geladen, so unterbricht man ihre Verbindung mit der beständigen Quelle, indem man sich dazu, um Berührung zu vermeiden, eines Isolirstäbchens bedient, und hebt dann die obere Platte an ihrem isolirenden Handgriffe ab. Die, hiedurch freigewordne, El. der untern Platte äußert nun ihre Repulsivkraft durch die Divergenz, die sie den Strohhalmen ertheilt. Leicht mittelt man dann ihre Beschaffenheit durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel aus. Manchmal gewährt es mehr Bequemlichkeit, die beständige Quelle mit der obern Platte in Verbindung zu setzen; wo man dann die, mit den Strohhalmen in Verbindung befindliche, berührt. Nach erfolgter Ladung des Apparats hört man mit der Berührung desselben auf, unterbricht die Verbindung desselben mit der Quelle, und hebt die obere Platte ab, welche die erlangte El. mit sich fort nimmt. Dann bleibt der untern Platte, welche wegen aufgehobener Berührung sich isolirt befindet, die entgegengesetzte El. und wird durch Divergenz der Strohhalme bemerklich gemacht. Die Ladung dieser Platte ist auf solche Art etwas schwächer, als die des Collectors bei der ersten Methode, weil die El. aus der Ferne immer nur einen Bruchtheil ihrer eignen Quantität binden kann. Jedoch wird der Unterschied unmerklich seyn, wenn, wie wir voraussetzten, die Zwischenlage sehr dünn ist, weil sich das Verhältniß in dem sich die Elektricitäten binden, dann nur ganz wenig von der Einheit entfernt. Man muß nur hiebei nicht vergessen, daß diese El. die entgegengesetzte Beschaffenheit von der der Quelle hat.

Es leuchtet ohne Weitres ein, daß man den Condensator auch an das Coulombsche Elektroskop anbringen könnte. Da die Methode hier ganz die nämliche ist, so würde es nutzlos seyn, uns weiter dabei aufzuhalten.

Von dem Elektrophor.

Ist ein Körper elektrisirt und isolirt, und man nähert ihm einen andern nicht isolirten Körper, so wird dieser die entgegengesetzte El. annehmen, und wenn er plötzlich isolirt wird, seine Ladung mit dieser El. zu erkennen geben. Der Beweise für diesen Satz haben wir schon mehrere in den vorigen Capiteln gefunden, und es lassen sich deren noch viele andre geben.

Man lade die Conductoren der Maschine mit einer gewissen Menge El. und nähere ihnen von Weitem eine, an einem gläsernen Stiel gehaltene, Metallscheibe. Zieht man diese Scheibe zurück, ohne sie berührt zu haben, so wird man sie im natürlichen Zustande finden;

berührt man sie aber, während sie sich im Wirkungskreise der Conductoren befindet, und zieht sie dann nach wieder aufgehobener Berührung zurück, so wird man sie mit einer El. geladen finden, welche der des Conductors entgegengesetzt ist.

Man nehme eine, von einem Fuß getragene, Metallscheibe, isolire sie und ertheile ihr einen Funken. Alsdann wird man sich derselben statt des Conductors beim vorigen Versuch bedienen können, eine andre, ihr genäherte Metallscheibe zu laden, indem man diese in ihrem Wirkungskreis erst berührt, alsdann isolirt; und dies Laden wird sich so oft mit verschiednen Metallscheiben wiederholen lassen, als die isolirte Scheibe nicht alle El. verloren hat.

Um zu erfahren, was mit der El. dieser Scheibe vorgeht, während sie so vertheilend wirkt, braucht man nur ihre untere Fläche mit einem, gleich ihr isolirten, Fadenelektroskop in Verbindung zu setzen; die Fäden werden sogleich divergiren (wenn die andre Scheibe noch außer ihrem Wirkungskreise ist). So wie man aber die andre, nicht isolirte, Scheibe nähert, mindert sich ihre Divergenz, und wird endlich ganz unmerklich, so daß alle Elektricität, welche sie anregte, verschwunden scheint. Sie ist aber eigentlich blos gebunden; denn nach Entfernung der, mit der Erde in Verbindung stehenden, Scheibe, kehren die Fäden sogleich zu ihrer anfänglichen Divergenz zurück.

Die Zersetzung der natürlichen Elektricitäten des angenäherten Körpers, mithin die Stärke seiner Ladung, nimmt in dem Maße zu, als er in geringere Entfernung vom elektrisirten Körper gelangt; und würde am stärksten dann seyn, wenn diese Entfernung ganz null würde. Jedoch kann man sie nicht bis zu beliebigem Grade vermindern, ohne das Ueberspringen eines Funkens zwischen beiden Körpern zu bedingen. Man bringt deshalb eine dünne Zwischenlage aus irgend einem, für die El. undurchdringlichen, Stoffe zwischen sie an; z. B. eine Glas- oder Harzscheibe.

Um die Anwendung dieser Methode zu zeigen, isolire man eine Metallscheibe, wie die untere Platte eines Condensators; bedecke sie mit einer Glastafel und ertheile ihr einen Funken. Darauf lege man auf diese Tafel die andre Scheibe, welche mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist; berühre sie einen Augenblick an ihrer obern Fläche, ziehe den Finger zurück, hebe sie an ihrem Handgriff ab, und man wird finden, daß sie mit einer El. geladen ist, welche der der isolirten Scheibe entgegengesetzt ist. Dieser Versuch läßt sich so oft wiederholen als man will, und man hat deshalb den Apparaten dieser Art den Namen **Elektrophore**, d. i. Elektricitätsträger, gegeben.

Wie man sieht, gründen sich beide, Condensator und Elektrophor, auf vertheilende el. Wirkung in die Ferne. Beim Condensator dient ein nicht isolirter Körper, die Ladung eines isolirten zu verstärken, dadurch daß er in dessen Wirkungskreis gebracht wird, während beim Elektrophor die Ansammlung durch den isolirten und elektrisirten Körper vermittelt wird.

Es lassen sich Elektrophore verfertigen, bei denen die Dicke der isolirenden Schicht ganz unmerklich ist. Zu diesem Zweck braucht man nur als untere Platte eine, durch Reibung elektrisirte, Glas- oder Harzscheibe anzuwenden. Da diese Substanzen die El. fest zurückhalten, so kann man die obere Scheibe unmittelbar auf ihre Oberfläche legen, ohne daß sie derselben eine in Betracht kommende Quantität abgeben; während ihr vertheilender Einfluß dann in voller Stärke zur Zersetzung der natürlichen Elektricitäten dieser Scheibe wirkt. Auch ist die gewöhnliche Einrichtung der Elektrophore die, daß sie aus einem, in eine metallne Hülle, (Form oder Teller genannt) gegossenen Harzkuchen bestehen, Fig. 32. Man elektrisirt die Oberfläche dieses Kuchens durch Schlagen mit einem recht trocknen Katzenfell. Er wird hiedurch negativ el. und bindet durch vertheilende Wirkung in der obern Scheibe (Deckel, Conductor oder Schild, clypeus, oft auch Trommel genannt.) *) die positive El. Dieser Apparat ist von häufiger Anwendung für chemische Untersuchungen, wo man oft der El. benöthigt ist. Auch lassen sich durch ihn mehrere in die Augen fallende Bestätigungen der Theorie erhalten, von denen mein größeres Werk ausführlicher handelt.

Wenn der Deckel geladen und auf den Harzkuchen gesetzt ist, so binden sich die positive El., die auf der untern Fläche jenes Sitz gefaßt hat, und die negative El., die im Harz hervorgetreten ist, wechselseitig, so daß keine ein Streben zeigt, zu entweichen. Sie können demnach nicht durch die Berührung der Luft hinweggenommen werden, die überdies Schwierigkeit findet, zwischen die Oberflächen zu treten, auf denen sie sich binden. Ein so geladner Apparat muß daher seine beiden Elektriciäten sehr lange zurückhalten; und in der That sieht man sie ganze Monate bleiben, wofern der Elektrophor nicht an einen feuchten Ort gestellt wird.

Jedoch muß die fortwährende Anziehung beider entgegengesetzten Elektricitäten allmälig den Widerstand überwinden, den das Harz dem Ausströmen der negativen El., welche es besitzt, und der Aufnahme der positiven El. des Deckels entgegengesetzt. Dies ist wahrscheinlich

---

*) Kuchen und Form zusammen heißen die Basis oder Unterscheibe, der Deckel im Gegensatz damit auch die Oberscheibe.

die einzige Ursach, welche bewirkt, daß nach längerer oder kürzerer Zeit die Elektrophore endlich entladen, und ihre verschiednen Theile im natürlichen Zustande wieder gefunden werden.

Man kann die Wirkungen dieser gegenseitigen Anziehung dadurch beschleunigen, daß man ihre Kraft sehr verstärkt. Zu diesem Zweck hebe man, nach vorgenommener Ladung des Elektrophors, den metallnen Deckel ab, und setze ihn aufs Neue auf den Harzkuchen, nicht aber parallel mit dessen Oberfläche, und mit der Breite, sondern schief und mit dem Rande. Seine positive El. wird sich nun fast ganz in dem Theile seines Umkreises, mit welchem er den Harzkuchen berührt, anhäufen, und dadurch eine weit stärkere Repulsivkraft erlangen. Sie wird aus dem Deckel ausströmen, die negative El. der Stellen, auf welche sie überspringt, vollkommen neutralisiren; und den Harzkuchen, wenn man diese Berührung an verschiednen Stellen desselben wiederholt, gänzlich entladen zurücklassen.

Hierauf läßt sich ein sehr anziehender Versuch gründen. Anstatt die positive El. welche im Deckel durch vertheilende Wirkung des Harzkuchens entwickelt worden ist, auf diesen zurückzubringen, trage man sie eben so auf einen andern, im natürlichen Zustande befindlichen, Harzkuchen über. Sie wird sich an die Oberfläche dieses Harzes anhängen, das Harz dadurch positiv el. werden und die Fähigkeit erlangen, nun für seinen Theil durch vertheilende Wirkung negative El. hervorzurufen. Auf den so geladnen zweiten Kuchen lege man nun einen metallnen Deckel, so wird man ein Elektrophor von einer, dem vorigen entgegengesetzten, El. haben. Durch dieses wird man nun wieder die Oberfläche eines dritten Kuchens mit negativer El. laden können; und dies Laden abwechselnd mit negativer und positiver El. wird sich auf so viel Kuchen ausdehnen lassen, als man immer will.

Man kann selbst durch dies Verfahren jeden Kuchen blos an gewissen Stellen seiner Oberfläche elektrisiren. Zu diesem Zweck braucht man nur an den Deckel, welcher die El. überträgt, einen Stiel und Knopf von Metall zu befestigen, ähnlich dem, am Collector des Condensators angebrachten. Berührt man nun den Kuchen mit diesem Knopfe, so wird sich alle El. nach dem Berührungspuncte hinbegeben. Auf solche Weise lassen sich, indem man diese Puncte hintereinander wählt, bestimmte Umrisse ziehen.

Um diese Umrisse sichtbar zu machen, braucht man blos auf die Oberfläche des Kuchens etwas leichtes Pulver von einem nichtleitenden Stoffe, z. B. gepulverten Siegellack oder Schwefel zu streuen. Die kleinen Theilchen, aus welchen dieses Pulver besteht, bleiben blos an den elektrisirten Stellen hängen, so daß bei Umkehrung des Kuchens

alle diejenigen, welche auf keinen solchen Stellen liegen, vermöge ihres eignen Gewichts herabfallen und blos die zurückbleiben, welche sich an den elektrisirten Umrissen festgehängt haben. Man bemerkt hiebei eine regelmäßige Anordnung der kleinen Theilchen, welche verschieden ist nach Verschiedenheit der, sie zurückhaltenden, El.;*) so daß, wenn man Züge mit beiden Elektricitäten auf verschiednen Theilen desselben Kuchens bildet, man die, beiden zugehörigen, Anordnungsarten der Theilchen in den Figuren zugleich erhält. Diese interessante Beobachtung verdanken wir Lichtenberg, einem deutschen Physiker; auch werden die, so gebildeten Figuren, Lichtenbergsche Figuren genannt.

Um diese Erscheinungen in die Augen fallender zu machen, bedient man sich eines Gemenges von zusammengeriebenem Schwefel und Mennig; durch die Operation ihres Zusammenreibens wird der Schwefel positiv, der Mennig negativ el. Man bringt dies Pulver in eine Art Blasebalg, und bläst es mittelst desselben auf den elektrisirten Harzkuchen. Hiebei trennen sich die beiden Substanzen, indem jede zu den Stellen des Harzkuchens hinflieht, die ihr entgegengesetzt elektrisirt sind; und man kann sie dann sowohl an ihrer Anordnung als an ihrer Farbe unterscheiden, indem der Schwefel gelb, der Mennig roth ist.

In den ersten Zeiten dieser Entdeckung bemerkten einige Physiker in Deutschland, daß Harzpulver, mit welchem man einen elektrisirten Kuchen so bestreut hatte, allmälig in eine fortschreitende Bewegung gerieth, welche jedoch nichts Regelmäßiges hatte. Voreilig baute man schon hierauf ein System. Aufmerksamere Beobachter jedoch entdeckten, daß diese Bewegungen von einer ganz kleinen Art Milben herrührten, die sich im Harzstaub fanden, und auf der elektrisirten Fläche fortbewegten.

Die Leydner Flasche.

Die beiden vorigen Abschnitte enthielten eine Untersuchung der Erscheinungen, welche die beiden Elektricitäten, positive und negative, hervorbringen, wenn sie einander aus der Ferne gebunden halten. Wir fanden, daß sie, wenn man zwischen beiden, während sie sich in diesem Zustande befinden, eine leitende Verbindung bewerkstelligt, mit

---

*) Nämlich, wenn diese El. positiv ist, so ordnet sich der Staub in Stralen an, die sich von Mittelpuncten verbreiten; ist sie negativ, so bieten sich kreisförmige Staubanhäufungen dar.

Gewalt in den verbindenden Leiter hineinströmen, sich vereinigen und so in den natürlichen Zustand zurückkehren.

Die jetzt anzuführenden Erscheinungen und Versuche beruhen auf der nämlichen Wirkungsart, und finden ihre Erklärung ganz aus denselben Grundsätzen; ihre Untersuchung ist aber in so fern von besonderm Interesse, weil sie kräftige Mittel zur Anhäufung der El. darbieten, und so zu vielen Erscheinungen führen, die eine solche Anhäufung erfordern.

Man halte ein, zum Theil mit Wasser gefülltes, Glasgefäß in der Hand, und tauche einen metallnen Leiter hinein, der mit der Elektrisirmaschine in Verbindung steht. Wenn man nun, nach einigen Umdrehungen der Scheibe, den Leiter mit einer Hand wegnehmen will, während man das Gefäß immer noch mit der andern hält, so empfindet man eine Erschütterung, die um so stärker ist, je mehr Oberfläche das Gefäß besitzt, je stärker und je länger die Maschine gewirkt hat.

Diesen Versuch, der der Erfindung des Condensators, des Elektrophors und der ganzen Theorie der El. weit vorausgegangen ist, führte der Zufall herbei, aber ein Zufall, dessen sich dann die Beobachtung bemächtigte. Er wurde zuerst zu Leyden von Cunäus und Musschenbroeck angestellt. Der Erfolg desselben setzte sie in Erstaunen, ja in Schrecken. Alle Physiker wiederholten ihn; und bald vertraut geworden mit einer Erscheinung, die sie erst mit Furcht erfüllte, suchten sie die zweckmäßigste Einrichtung eines Apparats auszumitteln, der sie in den Stand setzte, dieselbe nach Belieben immer wieder hervorzubringen.

Es ergab sich ihnen zuvörderst die Nothwendigkeit, die innern Wände des Gefäßes mit einer leitenden Substanz, wie Wasser, Quecksilber oder Metallblättern zu belegen; auch fanden sie, daß eine leitende Belegung ebenfalls an der äußern Oberfläche der Wände angebracht werden müsse, und daß die Hand die Stelle einer solchen nur unvollkommen vertrete. Endlich erkannten sie als wesentliches Erforderniß, der El. alle unmittelbare leitende Verbindung zwischen der innern und der äußern belegten Fläche abzuschneiden, ausgenommen im Augenblicke der Entladung.

Die bequemste Art, einen Apparat unter Erfüllung dieser Bedingungen einzurichten, besteht darin, eine gewöhnliche Glasflasche zu nehmen, auf diese auswendig einen dünnen metallnen Ueberzug (Belegung) zu kleben, und einen ähnlichen inwendig in der Flasche anzubringen, oder auch statt dessen sie blos mit hineingestreuten Metallblättchen anzufüllen. Ein Metallstab, der sich auswendig in einen Knopf endigt, geht durch den Stöpsel der Flasche durch, und dient,

die El. dem inwendig befindlichen Metall zuzuleiten. Der Stöpsel und ein Theil des Halses der Flasche werden auswendig überfirnißt. Dieser Apparat, wie ihn Fig. 33 darstellt, wurde allgemein Leydner Flasche, (auch Kleistsche Flasche, Verstärkungsflasche) benannt, nach der Stadt, wo seine Eigenschaften zuerst beobachtet wurden.

Die Theorie dieses Apparats stimmt so ganz mit der des Condensators überein, daß die nämlichen Ausdrücke sich fast wörtlich darauf übertragen lassen.

Die El., welche ins Innere der Flasche zugeleitet wird, und die wir für positiv annehmen wollen, zersetzt durch vertheilenden Einfluß die natürlichen Elektricitäten an der äußern Fläche, treibt die positive zurück, uud bindet die negative, die, vermöge ihrer gegenseitigen Anziehung, umgekehrt von jener einen Theil bindet. Auf diese Weise stellt die Flasche einen wahren Condensator dar. Bringt man nun zwischen ihren beiden Flächen eine leitende Verbindung zuwege, so stürzen sich die beiden, darauf angesammelten, El. mit großer Schnelligkeit gegen einander, und bringen vermöge ihres schnellen Durchgangs durch die Organe eine heftige Erschütterung in denselben hervor; oder, was auf das Nämliche hinauskommt, der Körper, welcher die leitende Verbindung vermittelt, erfährt eine plötzliche Zersetzung seiner natürlichen Elektricitäten, von denen jede sich nach der Fläche der Flasche hinbegiebt, wo die, ihr entgegengesetzte, El. ihren Sitz hat.

Diese Erklärung läßt sich allen ihren Umständen nach durch ähnliche Versuche bewähren, als wir in Bezug auf den Condensator anstellten. Mit einem Worte, die Leydner Flasche ist nichts anders, als ein Condensator, dessen isolirende Platte gekrümmt ist, dessen Collectivplatte durch die eine Metallbelegung vorgestellt wird, welcher man die El. zuführt, gewöhnlich die innere, während die andre durch die Belegung der andern Fläche dargestellt wird.

Wenn eine elektrisirte Leydner Flasche in der Luft aufgehangen wird, so kann diese Flüssigkeit nur auf den Theil El. absorbirend (einsaugend) wirken, der sich auf beiden Flächen der Wandung frei befindet; und so wird die gegenseitige Anziehung der sich gebunden haltenden Elektricitäten Ursach, daß beide sich sehr lange erhalten. Wirklich bestätigt dies die Erfahrung auf unzweifelhafte Weise; denn man findet, daß Leydner Flaschen von dünnem Glase sehr lange Zeit brauchen, sich vollständig zu entladen, wenn sie isolirt werden, und wenn die unmittelbare Gemeinschaft ihrer beiden Flächen durch einen Ueberzug des Randes mit gutem Gummilack verhütet wird.

Untersucht man in verschiednen Zeitpuncten die Fortschritte dieser

Absorption, indem man beiden Oberflächen mit dem Prüfungsscheibchen berührt, so findet man, daß sich auf ihnen freie Elektricitäten von entgegengesetzter Beschaffenheit entwickelt haben, die sich der quantitativen Gleichheit immer mehr nähern, und wenn sie dieselbe erreicht haben, sich bis zu ihrer völligen Erschöpfung in derselben fort erhalten. Der Calcul giebt von dieser Erscheinung vollkommene Rechenschaft, durch Herleitung aus den Gesetzen der Absorption der El. durch die Luft. Jedenfalls, wenn man, nach so eingetretener Gleichheit der Ladungen auf beiden Flächen, eine gepulverte nicht leitende Substanz darauf streut, so wird sie sich offenbar vermöge der Anziehung der freien Elektricitäten daran anhängen; und wären diese Elektricitäten nicht stark genug, die Pulvertheilchen fortzustoßen, so würden sie durch dieselben vor dem Luftzutritt geschützt werden; so daß der Apparat, weil die Elektricitäten jetzt gar keinen Verlust erlitten, ins Unbestimmte geladen bleiben könnte. Wirklich bemerkt man dies bei dünnen Glasplatten, wenn man sie, nach vorgenommener Ladung ihrer beiden Flächen, mit dem eben erwähnten Gemenge von Mennig und Schwefel bestreut. Mittelst einer Schnur an einer trocknen Mauer aufgehangen, behalten sie ihre El. ganze Monate hindurch.

Ueberhaupt darf man bei Untersuchung der el. Erscheinungen nie den Einfluß aus den Augen verlieren, den die Berührung der Luft dabei äußern kann. Sonst würde man sich z. B. durch die Erfahrung zu dem Schlusse verleiten lassen können, eine Leydner Flasche oder überhaupt ein Apparat dieser Art könne geladen werden, wenn man blos einer seiner Flächen El. zuführte, ohne die andre mit dem Boden in leitende Verbindung zu setzen; denn allerdings ladet sich eine so isolirte Flasche allmälig, besonders wenn man das Elektrisiren derselben lange Zeit fortsetzt. Allein der Grund davon liegt darin, daß die El. der zweiten Oberfläche, welche durch vertheilende Wirkung zurückgetrieben und frei wird, sich dann der absorbirenden Wirkung der Luft ausgesetzt befindet, und dadurch allmälig Verminderung erleidet; welches dann die Anhäufung einer gewissen Quantität El. auf der, unmittelbar mit den Conductoren in Verbindung stehenden, Oberfläche gestattet. Um diese Verminderung aufs Höchste zu treiben, braucht man blos an der äußern Oberfläche einige Spitzen anzubringen; dann ladet sich die Flasche, wenn gleich in der Luft isolirt, fast eben so stark, als wenn die, mit Spitzen versehene, Oberfläche mit dem Boden in leitender Verbindung stände.

Von den elektrischen Batterieen.

Bezweckt man eine starke Anhäufung von El., so nimmt man zu Leydner Flaschen große cylindrische Glasgefäße, giebt ihnen auf ihren beiden Oberflächen eine Metallbelegung (von Stanniol) und verbindet die Stäbe der innern Belegung derselben mit einem und demselben metallnen Conductor, bei dessen Berührung das gleichzeitige Entladen aller erfolgt. Man nennt einen solchen, in Fig. 34 vorgestellten, Apparat eine el. Batterie. Gewöhnlich wird sie auf einen isolirenden Untersatz gestellt, der mit dem Boden durch einen metallnen Leiter in Verbindung steht, welchen man nach Belieben wegnehmen oder anfügen kann.

Je größer die belegte Glasoberfläche einer Batterie ist, desto mehr El. von gleicher Repulsivkraft vermag sie anzuhäufen, aber um so mehr Zeit wird auch erfordert, sie durch eine gegebene Maschine zu laden. Ueberhaupt ist es zweckmäßig, wenn man sehr große Batterieen anwendet, sie in mehrere Abtheilungen zu sondern, um die Quantität der anzuhäufenden El. den bezweckten Wirkungen anzupassen. Man erhält hiedurch überdies den Vortheil, die Batterieen schneller mit der nämlichen Maschine laden zu können, wie ich sogleich erörtern werde.

Gesetzt, es wäre eine beliebige Zahl Leydner Flaschen, oder überhaupt belegter Glasoberflächen unter einander an metallnen Leitern aufgehangen, wie Fig. 35 darstellt. Die erste werde an eine seidne Schnur S befestigt und die letzte mit dem Boden in Verbindung gesetzt. Nun leite man zur obern Fläche A_I A_I die El. der Maschine, die ich für positiv annehmen will; offenbar werden sich alle untern Platten zugleich mit der obersten laden vermöge der successiven Zurückstoßung der El. von einer zur andern. Allein sowohl der Theorie als der Erfahrung zufolge muß bei dieser Art, durch Uebergang der El. von einer Fläche zur andern zu laden (charger par cascade), die Zersetzung der natürlichen El. in sehr rascher Progression mit der Entfernung vom ersten Leiter geschwächt werden; so daß schon bei mäßiger Vervielfältigung der Oberflächen die letzten sich fast gar nicht laden. Ueberdies wird durch Bewerkstelligung einer leitenden Verbindung zwischen den entgegengesetzten Oberflächen des ersten und letzten Gliedes der Kette nur die Entladung der Quantitäten El. bewerkstelligt, die jeds derselben für sich erlangt hatte; und die Elektricitäten der Zwischenplatten treten von selbst wieder zum natürlichen Zustand zusammen, ohne eine Wirkung hervorgebracht zu haben; dagegen auch sie ihre Wirksamkeit äußern würden, wenn man, nachdem das System par cascade geladen worden wäre, die successiven Theile desselben auseinander nähme, um die, mit der nämlichen El. geladnen, Flächen

für sich in Verbindung zu setzen und gleichzeitig zu entladen. Diese Methode wird mit Vortheil zur Ladung großer Batterieen angewandt. Man scheidet sie zu diesem Zweck in mehrere, auf Isolirfüßen ruhende, Abtheilungen, wie Fig. 36 darstellt. Um sie sämmtlich oder blos einige derselben zu laden, bewerkstelligt man zuvörderst eine leitende Verbindung zwischen den successiven Flächen $B_1 A_2$ *), $B_2 A_3$ ...., mittelst metallner gebogener Stäbe $C_1 C_2$ ....., die man durch Ringe steckt, welche zu diesem Behuf angebracht sind; und die letzte Fläche Bn wird mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt. Hält man nun die Ladung für hinreichend, so unterbricht man die Verbindung der Fläche Bn mit dem Boden. Dann kann man die Metallstäbe C_1, C_2.... ungestraft nach einander hinwegnehmen; denn, wenn man z. B. C_1 wegnimmt, so kann keine Entladung erfolgen, weil die El. B_1 ganz durch A_1 und die El. A_2 ganz durch B_2 festgehalten wird. Höchstens wird man so einen schwachen Funken erhalten, der vom Ueberschuß von A_2 über B_2 herrührt. Sind nun die partiellen Batterieen auf solche Weise getrennt, so vermittelt man eine leitende Verbindung zwischen ihren Oberflächen A_1, A_2.... Zu diesem Zweck wirft man, nicht legt man, weil man sich hiedurch einem Entladungsschlag aussetzen würde, auf sie die nämlichen Metallstäbe C_1, C_2...., welche, indem sie auf die Leiter fallen, durch welche die Theile jeder Batterie**) mit einander in Verbindung stehen, dieselben von selbst in Gemeinschaft setzen. Jedesmal, wenn der Stab auf zwei aufeinanderfolgende partielle Batterieen fällt, erregt er einen Funken zwischen ihnen, welcher von der Ungleichheit der Ladungen herrührt, die sie bei der ersten Anordnung erhalten hatten. Sind alle Batterieen so in Verbindung gebracht, so lassen sie sich sämmtlich auf einmal entladen; indem man irgend einen Theil der äußersten Flächen A_1 und B_2 mit einander in Verbindung setzt; oder man kann auch das Drehen der Maschine noch bis zu vollständig erfolgter Ladung fortsetzen.

Bei diesen Versuchen ist es von Wichtigkeit, in jedem Augenblick genau wissen zu können, in welchem Zustande sich die Batterie befindet. Denn wenn die Ladung einen gewissen Grad übersteigt, so kann der Theil der El., der auf den Flächen A seine Repulsivkraft behält,

---

*) B das äußere Belege der einen Flasche, A der, mit dem innern Belege der darauf folgenden Flasche in Verbindung stehende, Knopf.

**) Hier muß man sich als einen solchen Theil der Batterie, oder eine solche partielle Batterie die Fig. 34 vergegenwärtigen, nicht 36, wo blos der einfachern Betrachtung halber jede partielle Batterie als eine einzelne Flasche vorgestellt ist. Das Werfen könnte bei letzterer nicht von Statten gehen.

den Widerstand der Luft überwältigen, und durch einen Entladungsschlag nach einer Fläche B überspringen, was ein plötzliches Entladen der Batterie und oft das Springen eines Theils der Flaschen zur Folge haben würde, weil die ganze Gewalt des Schlages sich dann gegen einen einzigen Punct ihrer metallischen Belegung richtet. Um diesen Unfall zu verhüten, schraubt man auf den Leitern der Flächen A, ein kleines Pendel fest, bestehend aus einem metallnen Stiel TT, Fig. 37, und einem leichten, (als Zeiger um eine Axe frei beweglichen) Elfenbeinstäbchen, welches an seinem Ende eine kleine Hollundermarkkugel b trägt. (Henleysches oder Quadranten-Elektrometer). Die freie Flüssigkeit der Fläche A äußert ihre Repulsivkraft auf dieses kleine Pendel und macht, daß es sich von seinem Stiele entfernt. Die Weite, bis zu der dies geschieht, wird durch eine, auf dem Halbkreise cc verzeichnete, Eintheilung angegeben. Es leuchtet ein, daß dies Instrument keinen Maßstab für die absolute Stärke der Ladung der Batterie abgiebt; (weil es nämlich blos den freien Theil derselben anzeigt) allein es gewährt wenigstens eine sich gleich bleibenden Anzeige, nach welcher man sich richten kann, wenn man ein für allemal versuchsweise ausgemittelt hat, bei welchem Grade der Abstoßung eine freiwillige Entladung zu fürchten seyn würde.

Zur Entladung der Batterieen bedient man sich des, S. 213 beschriebenen, zweiarmigen Ausladers. Man legt einen Arm desselben an eine Fläche A, den andern an eine Fläche B an, wo dann die Ausladung durch beide Arme hindurch erfolgt. Man muß sich überhaupt hüten, wenn man es mit starken Batterieen zu thun hat, sich ihrem Entladungsschlage auszusetzen; weil ein solcher die gefährlichsten Zufälle, ja selbst den Tod nach sich ziehen könnte.

Zehntes Capitel.

Von den elektrischen Säulen und den Erscheinungen, welche die, durch Wärme elektrisirten, Krystalle darbieten.

Ich werde über die Ladung par cascade noch einige Erörterungen hinzufügen, die uns bei der Theorie des Galvanismus und Magnetismus zu Statten kommen werden. In Bezug auf unsern jetzigen Standpunct gewähren sie überdies den Vortheil, uns neue Beispiele von dem Spiel der gebundnen Elektricitäten darzubieten.

Man denke sich eine Folge von Glasplatten, auf ihren beiden

Oberflächen mit Metall belegt und parallel mit einander angeordnet, wie Fig. 38 darstellt; so daß die Fläche B_1 der ersten durch einen Metalldraht mit der Fläche A_2 der zweiten; die Fläche B_2 der zweiten mit der Fläche A_3 der dritten in Verbindung steht, u. s. f. bis auf die letzte, deren hintere Fläche Bn mit dem Boden leitende Gemeinschaft hat. Gesetzt dieser ganze Apparat sey isolirt (außer der letzten Fläche); man elektrisire die erste Fläche A_1, welche man mit dem ersten Conductor einer starken Maschine in Verbindung gebracht hat, einige Zeit hindurch par cascade, und hebe dann die leitende Gemeinschaft dieser ersten Fläche mit dem Conductor und der letzten mit dem Boden auf. Welches wird nach einer gewissen Zeit der el. Zustand aller Theile des Apparats seyn?

Dies zu bestimmen, muß man in Erwägung ziehen, daß im Augenblick, wo die leitenden Verbindungen unterbrochen werden, die erste Fläche A_1 eine gewisse el. Ladung besitzt, die zum Theil frei, zum Theil durch die entgegengesetzte El. gebunden ist, welche sie selbst auf der zweiten Fläche B_1 angezogen hat und festhält; dasselbe gilt von der Fläche A_2 in Bezug zu B_2; von A_3 in Bezug zu B_3 u. s. f. von allen übrigen.

Von allen diesen Quantitäten besteht nur die Ladung A_1 aus El., welche von außen her in den Apparat eingeführt ist, alle andern rühren von bloßer Zersetzung der natürlichen Elektricitäten her. Die absolute Stärke dieser Elektricitätsentwicklung nimmt in rascher Progression von einem Element des Systems zum andern ab; aber nicht die ganzen Mengen El., die sich auf jedem derselben entwickelt haben, sind merkbar; blos das, was von diesen Elektricitäten frei ist, ist merkbar, welches alles von der nämlichen Beschaffenheit als die auf A_1 festgehaltene El. ist.

Dies vorausgesetzt, erhellt, daß, wenn sich der Apparat in einem vollkommen isolirenden Mittel befände, dieser Zustand des Gleichgewichts ohne Ende sich erhalten würde; allein, wenn er von einem absorbirenden Mittel, wie die Luft, umgeben ist, so wird er seine El. allmälig verlieren. Um zu wissen, auf welche Weise dies erfolgt, muß man sich zurückrufen, daß, bei dem nämlichen Zustande der Luft und für die nämliche Gestalt der Oberfläche, dieser Verlust der Totalquantität der, sich frei darauf befindenden, El. proportional ist. In den ersten Augenblicken wird der Verlust also mehr auf der ersten Fläche A_1, als auf der zweiten A_2 betragen, weil diese ärmer an freier El. ist; eben so wird er mehr betragen auf A_2, als auf A_3; u. s. f. bis auf die letzte Fläche Bn, wo er ganz null seyn wird, weil sich jetzt keine freie El. auf dieser Fläche befindet. Allein in Folge dieser Ungleichheit des Verlusts wird sich solche darauf entwickeln. Denn das zuvor stattge-

fundene Gleichgewicht bestand nicht zwischen den Antheilen freier El. der verschiednen Flächen, sondern zwischen ihren absoluten Ladungen; und weil die erste A_1 sich geschwächt findet, vermag sie auf B_1 nicht mehr so viel als zuvor zu binden; dasselbe gilt von A_2 in Bezug zu B_2 und so fort bis auf die letzte Fläche Bn. Da nun die El. dieser Fläche nicht mehr vollkommen gebunden ist, so wird ein Theil derselben frei; und dieser Theil, der anfangs ganz gering ist, nimmt allmälig zu. Denn obwohl, so wie er hervorgetreten ist, sogleich die Luft ihren absorbirenden Einfluß auf ihn zu äußern anfängt; so erleidet er doch wegen seiner Schwäche dadurch Anfangs einen geringern Verlust, als die freien Antheile der andern Flächen, so daß die Veränderung des Gleichgewichts immer in der Art fortgeht, daß der Verlust freier El. auf der ersten Fläche mehr und mehr ab, auf der letztern mehr und mehr zunimmt, und daß die zwischenliegenden Elemente die mittlern Veränderungen zwischen diesen beiden erfahren. Diese Veränderungen können also nur in der Gleichheit der, auf den beiden äußersten Flächen in freiem Zustande befindlichen, Elektricitätsmengen ihre Gränze finden, womit zugleich die Gleichheit ihrer Ladung gegeben ist; dann wird eine symmetrische Anordnung der El. von diesen Flächen aus bis nach der Mitte der Säule Statt finden; die Mengen freier El. werden zu beiden Seiten dieser Mitte von entgegengesetzter Beschaffenheit seyn und mit der Annäherung an dieselbe progressiv abnehmen; so daß diese Mitte ganz frei davon seyn, und die daselbst befindliche Platte sich ungestraft berühren lassen wird. Trennt man aber die Säule an dieser oder irgend einer andern Stelle, und isolirt die Fragmente, so wird sich allmälig am Ende, wo die Trennung geschah, eine gewisse Quantität freier El. entwickeln, welche der des unberührt gelassenen äußersten Pols entgegengesetzt ist.

Diese Resultate giebt die Theorie an die Hand, und weist der Calcul noch in ihren nähern Umständen nach. Auch die Erfahrung stimmt vollkommen damit überein, wie ich mich selbst überzeugt habe.

Die Erscheinungen, welche die Mineralien darbieten, welche fähig sind, durch Wärme elektrisirt zu werden, sind den eben beschriebenen so analog, daß man nicht zweifeln darf, die Natur habe durch sie solche Apparate verwirklicht, d. i. el. Säulen, bestehend aus einer unendlichen Anzahl paralleler Platten. Die bloße Darlegung der Thatsachen wird hinreichen, diese Wahrheit einleuchtend finden zu lassen.

Als Beispiel mag die Varietät des Turmalins dienen, welche Hauy tourmaline isogone nennt. Sie hat die Gestalt eines neunflächigen Prismas, das an einem Ende mit drei, am andern mit sechs Flächen zugespitzt ist. Bei einer Temperatur unter 34° R. äußert dieser Krystall kein Zeichen von El.; taucht man ihn aber einige Minuten in

kochendes Wasser, zieht ihn wieder heraus, indem man ihn mittelst einer kleinen Pincette in seiner Mitte faßt, und bietet ihn dem Scheibchen des Elektroskops, oder einem kleinen, mit einer bekannten El. schon geladenen, Pendel dar, so wird man finden, daß sein eines Ende dasselbe anzieht, das andre es abstößt. Das mit drei Flächen zugespitzte Ende ist positiv, das mit sechs Flächen negativ el. Ertheilt man dem Elektroskop einen sehr hohen Grad der Empfindlichkeit, so giebt es zu erkennen, daß jede Art El. schnell von der Spitze, wo sie ihren Sitz hat, abnimmt, ganz schwach schon in einer geringen Entfernung von jedem Ende des Prismas wird, und daß von da bis zur Mitte das ganze Mineral im natürlichen Zustande scheint; mit einem Worte, die Erscheinungen sind ganz die nämlichen, als bei der el. Säule von der eben beschriebenen Einrichtung; blos die Erregungsart der El. ist eine andre. Verschiedne Arten, diese Versuche abzuändern, findet man in meinem größern Werke angeführt.

Aehnliche Erscheinungen hat man seitdem bei vielen andern Krystallen beobachtet (z. B. dem krystallisirten Gallmey, dem Topas, Smaragd, Boracit, Mesotype, Prehnit u. s. w.). Mehrere unter ihnen sind selbst in dieser Hinsicht weit empfindlicher, als der Turmalin; indem schon eine geringe Erwärmung hinreicht, sie el. zu machen. Hauy, dem wir viele interessante Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken, hat bemerkt, daß dies Vermögen sich blos in den, nicht mit symmetrischer Gestalt begabten, Krystallen findet; und daß die Theile, wo die entgegengesetzt el. Pole ihren Sitz haben, immer die sind, welche der Symmetrie Abbruch thun, wie die beiden Enden am Prisma des Turmalins.

Wohl möglich wäre es, daß durch eine starke Erkältung das el. Gleichgewicht im Turmalin eben so wie durch die Temperaturerhöhung aufgehoben würde, oder daß diese Wirkung auch bei schwächern Wärmegraden erfolgte, wenn der Turmalin zuvor einem hohen Grade künstlicher Kälte ausgesetzt worden wäre. Diese besondern Umstände, welche mehr Licht über das Geheimniß der Elektricitätsentwicklung in diesem Mineral verbreiten könnten, verdienten eine nähere Untersuchung.

Schmilzt man Schwefel in einer eisernen Pfanne und läßt ihn, nach Isolirung der Pfanne, darin abkühlen, so findet man, daß der Schwefel negativ, das Eisen positiv geworden ist. Diese Erscheinung scheint eine Andeutung zu geben, was in jedem Element des Turmalins und der andern Krystalle, welche durch Wärme el. zu werden vermögen, vorgeht. Eine Folge solcher, in Berührung mit einander gesetzter, Elemente würde wahrscheinlich eine wahre el. Säule bilden, in welcher die Isolirung und die Trennung der Platten durch

die Nichtleitungsfähigkeit der Substanz des Krystalls bewirkt würde. *)

Eilftes Capitel.

Mechanische und chemische Wirkungen, welche durch die Repulsivkraft der angehäuften Elektricitäten hervorgebracht werden.

Schon mehrmals hat sich uns die Bemerkung dargeboten, daß die, auf der Oberfläche der Leiter verbreitete, El. einen Gegendruck gegen die atmosphärische Luft ausübt, welche sie durch ihr Gewicht (und ihre Spannkraft) auf dieser Oberfläche zurückhält. Wir haben gesehen, daß diese Gegenwirkung, die dem Quadrat der Dicke der el. Schicht stets proportional ist, hinreichend stark werden kann, um den Widerstand zu besiegen, den ihr die Luft entgegensetzt. Dann entweicht die El. durch einen Entladungsschlag, indem sie die Lufttheilchen aus einander treibt. Es läßt sich hienach voraussetzen, daß die El. bei stärkern Graden der Anhäufung fähig werden wird, sich auch durch weit dichtre Substanzen, als die Luft ist, hindurch zu entladen, und selbst den Zusammenhang ihrer Theilchen zu trennen. Wirklich findet sich dies durch die Erfahrung bestätigt.

Durch die Entladung einer hinlänglich starken el. Batterie lassen sich Holzzylinder zersprengen, wenn man den Schlag durch sie hindurch leitet. Eben so werden leicht verbrennliche Körper, wie Phosphor, Aether und andre spirituöse Flüssigkeiten dadurch in Flammen gesetzt, d. i. ihre chemische Vereinigung mit dem Sauerstoff der Luft zuwege gebracht, insbesondre, wenn sie vorher erwärmt waren. Thiere können durch einen Entladungsschlag, den man durch ihren Körper hindurchleitet, getödtet werden, und ihre Leichname faulen dann eben so schnell als die von Thieren, die vom Blitz erschlagen worden sind. So spaltet auch der Entladungsschlag Glasstreifen und geht der Länge nach durch sie hindurch, wofern ihre Oberflächen glatt sind, widrigenfalls das Glas zum Leiter wird und den Entladungsschlag ohne zu

*) Auch folgender Versuch scheint hieher zu gehören: Läßt man in einer isolirten und auf beiden Seiten mit Stanniol belegten Flasche Wasser gefrieren, so wird die innere Belegung positiv, die äußere negativ el. Bei schneller Aufthauung des Wassers wird die innere Belegung negativ und die äußere positio el. In einer isolirten, aber nicht belegten, Flasche erfolgen diese Erscheinungen nicht. (Singer Elemente der El.).

zerbrechen durch sich hindurchläßt. Durch Eisen = Kupfer = oder Silberdrähte geleitet schmilzt er sie in kleine Kügelchen. Bei einem noch größern Grade der Anhäufung endlich werden solche Drähte und selbst Goldblätter plötzlich verflüchtigt. In meinem größern Werke findet man ausführlich erörtert, auf welche Art sich diese Versuche am bequemsten anstellen lassen, und welche Vorsichtsmaßregeln man zu nehmen hat, um sie ohne Gefahr zur Ausführung zu bringen.

Wie leicht zu erachten, wird eine solche Kraft durch Wirkungen dieser Art in tropfbaren oder gasförmigen Flüssigkeiten alle die Erscheinungen hervorzubringen vermögend seyn, welche die natürliche Folge einer starken Zusammendrückung oder einer plötzlichen Temperaturerhöhung sind; wie sich auch in der Erfahrung nachweist. So entzündet der el. Entladungsschlag, selbst schon einer einzigen Leydner Flasche, das Wasserstoff = und Sauerstoffgas, wenn beide ungefähr in dem Verhältniß von 2 Volumtheilen Wasserst. auf 1 Volumtheil Sauerst. untereinander gemengt sind; und als Product erhält man tropfbar flüssiges Wasser, oder vielmehr Wasserdunst, der von der großen Menge Caloricums, das sich bei der chemischen Vereinigung entbindet, gefaßt und auf eine ausnehmend hohe Temperatur gebracht wird. Der zweckmäßigste Apparat zur Anstellung dieses Versuchs ist in Fig. 39 vorgestellt. Er besteht aus einem großen Glasballon, den man immer mit Sauerstoffgas gefüllt erhält, indem man ihn mit Recipienten, die unter einem gleichen Druck erhalten werden, in Verbindung setzt. In diesen Ballon läßt man nun durch das Ende einer ganz feinen Glasröhre einen gleichförmigen Strom von Wasserstoffgas zutreten, und entzündet denselben durch einen schwachen, mittelst metallner Leiter in den Ballon übergeleiteten, el. Funken, worauf die einmal hervorgebrachte Flamme sich von selbst forterhält. Dieser Versuch muß mit ganz besondern Vorsichtsmaßregeln angestellt werden; widrigenfalls Explosionen unvermeidlich sind. Ist es jedoch blos darum zu thun, sich von der Thatsache der chemischen Verbindung beider Gasarten zu überzeugen, so bietet hiezu der, in Fig. 40 vorgestellte, Apparat ein gefahrloses Mittel dar. Er besteht aus einer, oben mit einem Metallpfropf verschlossenen, Glasröhre, welcher fest in dieselbe eingekittet, und mit einem, in das Innere der Röhre vorspringenden, Knopfe versehen ist. Ein biegsamer elastischer Metalldraht geht in der nämlichen Röhre in die Höhe, und läßt sich dem Knopf bis auf eine geringe Weite nähern. Nachdem diese Röhre in eine Wanne voll Wassers getaucht ist, füllt man sie mit Gas, wie einen gewöhnlichen Recipienten, hebt sie darauf zum Theil heraus, trocknet sie ab, und ertheilt dem Metallpfropf einen Funken; dieser pflanzt sich in das Gasgemenge fort, und entzündet es mit Detonation. Uebrigens

bewirkt bloße mechanische Zusammendrückung dieselbe Wirkung, wie ich anderwärts durch Erfahrung dargethan habe; und eine Temperaturerhöhung reicht gleichfalls dazu hin.

So wie sich Wasser durch den el. Funken bilden läßt, eben so vermag man auch, es dadurch zu zersetzen. Anfangs leitete man zu diesem Endzweck starke Entladungsschläge durch diese Flüssigkeit, wodurch Explosionen mit Funken hervorgerufen wurden. Der erfahrne und erfinderische Wollaston indeß hat Mittel gefunden, die nämliche Erscheinung auf eine, ohne Vergleich in die Augen fallendere, sichrere und leichtere Weise hervorzubringen, indem er den el. Strom in das Wasser durch ganz feine Platindrähte leitet, die in scharfe Spitzen ausgehn, und sich in Glasröhren isolirt befinden oder mit Harz umgeben sind, so daß sie ihre El. nur durch das letzte Ende dieser Spitze verlieren können. Wie leicht zu erachten kann eine, wenn gleich schwache, El. unter solchen Umständen eine ausnehmende Intensität erlangen, welche an dem äußersten Ende der Spitze wirkt, und dort mit ihrer ganzen Stärke sich gegen das einzige Wassermolecul richtet, mit welchem die Spitze in Berührung ist. Auch reicht der Strom einer, eben nicht sehr kräftig wirkenden, Elektrisirmaschine, wenn er auf solche Weise übergeleitet wird, hin, aus dem Wasser unausgesetzt eine Menge kleiner Blasen zu entwickeln, die, wenn sie aufgefangen und abermals der Prüfung durch den el. Funken unterworfen werden, sich als die beiden Gasarten zeigen, aus denen diese Flüssigkeit zusammengesetzt ist. Mit größerer Sicherheit und Schnelligkeit erhält man die bezweckte Wirkung, wenn man durch die beiden Spitzen zwei Ströme verschiedenartiger El. zugleich anlangen läßt.

Bewerkstelligt man eine solche Durchleitung durch zwei ganz feine Spitzen, eine von Kupfer und eine von Silber, die in eine Auflösung von schwefelsaurem Kupfer tauchen, und deren erste mit dem positiven Conductor in leitender Verbindung steht, so wird das Salz zersetzt. Das von der Säure geschiedne Kupfer stellt sich in reguliniſchem Zustande am Silberdraht wieder her und der andre Draht wird aufgelöst. Kehrt man die Verbindung um, so daß der Silberdraht, welcher sich so mit Kupfer überzogen hat, mit dem negativen Conductor (d. i. ein Conductor, der mit dem Reibzeuge der Maschine in Verbindung steht) in Verbindung gebracht wird, so löst sich der Kupferniederschlag an seiner Oberfläche wieder auf, und die Fällung geschieht jetzt am andern Drahte.

Diese schönen Versuche, so wie mehrere andre der nämlichen Art, welche gleichfalls von Wollaston herrühren, und sich in meinem größern Werke angeführt finden, zeigen, daß die negative El. das Bestreben hat, den Sauerstoff aus den Verbindungen, in die er ein-

geht, zu scheiden; dagegen die positive El. diese Verbindungen befördert: ein Resultat von Wichtigkeit, für welches sich uns weiterhin noch viele Belege ergeben werden.

Zusätze über die mechanischen und chemischen Wirkungen der Elektricität. *)

Das Entladen einer Leydner Flasche wird, wie schon bemerkt worden, durch Verbindung der innern und äußern Belegung vermittelst irgend eines Leiters bewirkt. Diese Operation nennt man einen Umlauf bilden oder einen Kreis schließen, und von irgend einer Substanz, die man zwischen zwei Theile des verbindenden Leiters, oder zwischen diesen und eine Belegung der geladenen Oberfläche gebracht hat, so daß der Entladungsschlag seinen Weg hindurch zu nehmen genöthigt ist, wird gesagt: sie sey in den Kreis oder in die Kette gebracht worden.

Wenn dem Entladungsschlag mehrere Wege frei stehn, um von einer Metallbelegung zur andern zu gelangen, so zeigt die Erfahrung, daß er jedesmal vorzugsweise den kürzern und den durch die bessern Leiter vermittelten wählt. Hat daher eine Person zwischen ihren Händen einen Metalldraht, und berührt sie mit der einen den Knopf der innern Belegung der Flasche, während sie die andre an die äußere Belegung hält, so wird sie nur an den Puncten der Berührung eine Empfindung bemerken; denn das el. Fluidum hat die Wahl von zwei Umläufen, zieht den bestleitenden vor und geht also durch den Draht, ohne den Korper der Person, die ihn hält, zu afficiren. Wird aber statt des Drahtes ein Stück Holz genommen, so wird der Schlag gefühlt; denn trockenes Holz ist ein schlechterer Leiter, als die thierischen Flüssigkeiten.

Daß der Schlag den kürzesten Weg vorzieht, läßt sich leicht dadurch bestätigt finden, daß er, wenn Menschen in die Kette treten, von ihnen nur in den Muskeln verspürt wird, welche in die geradeste Linie, die in den Kreis kommt, fallen. Man lasse A, B, C, D, E und F sich einander bei den Händen halten, und indem A die äußere Belegung einer geladenen Flasche berührt, fasse F den Knopf der innern Belegung an; jedes Individuum wird auf dieselbe Art und zu gleicher Zeit erschüttert, indem der Schlag von Hand zu Hand durch die Arme, und, wenn die Ladung stark ist, auch quer über der Brust empfunden wird. Dies sind die Theile des Körpers, die gerade in

---

*) Aus Singers Elementen der Elektricität und Elektrochemie, übers. von Müller, ausgezogen.

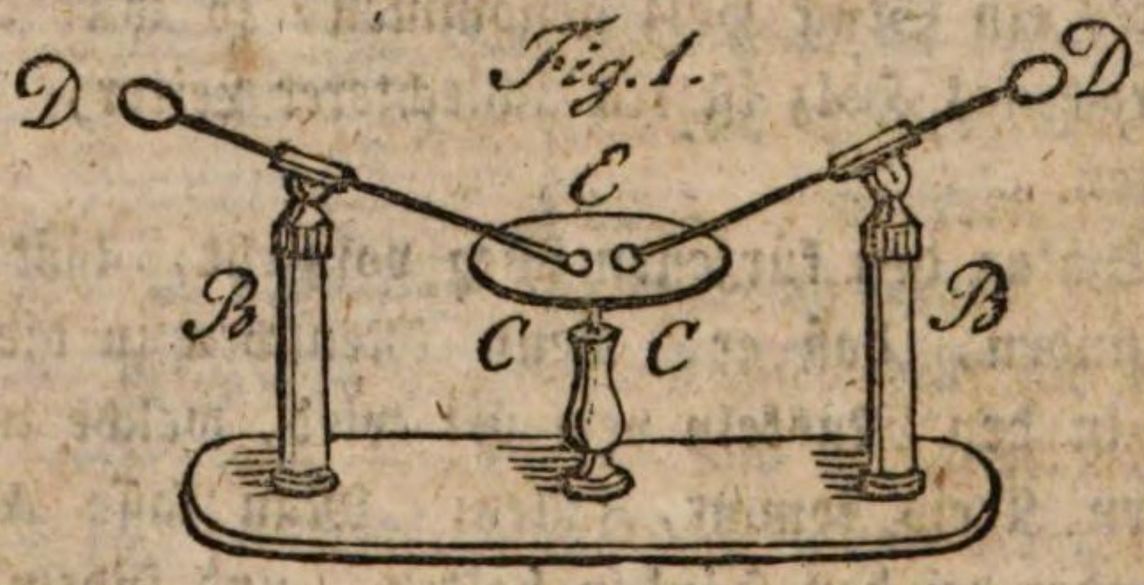
die Umlaufslinie fallen. Man verändere den Versuch: A, die Flasche wie zuvor haltend, berühre mit seinem linken Fuße den rechten von B, dieser wieder mit seinem linken den rechten von C, und so weiter bis zur Person F, die durch Berührung des Knopfes der Flasche mit ihrer linken Hand den Kreis schließt; A wird erschüttert in seinem rechten Arme und linken Beine; B, C, D und E in beiden Beinen und F im rechten Beine und linken Arme, so daß also der Schlag in der directesten Linie von einem Berührungspuncte zum andern fortläuft.

Die Weite, zu der ein Schlag durch gute Leiter fortgeführt werden kann, ist merkwürdig. Schon Nollet theilte einen el. Schlag aus einer kleinen Flasche hundert und achtzig königlichen Gardisten und nachher einem ganzen Karthäuser-Convent mit, der von allen Personen, die diese große Kette bildeten, zu gleicher Zeit empfunden wurde.

Die Neigung des Schlages, durch die besten Leiter zu gehen, dient zum Messen der leitenden Kraft; denn wenn verschiedene Substanzen von gleicher Länge und Oberfläche zu gleicher Zeit als Umlaufsketten angewendet werden, so ist die, welche das el. Fluidum sich zum Durchgange wählt, der beste Leiter, oder wendet man sie nach einander an, so ist die als der beste Leiter zu betrachten, welche den Schlag am vollständigsten fortführt.

Den Schlag mit mehrerer Sicherheit und Genauigkeit dahin zu führen, wo er wirken soll, dient ein, von Henley erfundener, Apparat, der der allgemeine Auslader genannt wird. Er besteht, wie die Fig. 1 zeigt:

Fig. 1.



aus einem, etwa 14 Zoll langen und 4 Zoll breiten Bret, in dessen Mitte sich eine Dille befindet, in der nach Umständen ein kleines Tischchen mit einer elfenbeinernen Platte E oder eine Presse von Mahagoniholz angebracht werden kann. Zu beiden Seiten dieses Tischchens sind zwei Glassäulen B, B, in das Bret eingekittet, deren jede oben ein doppeltes Charnier hat und in einer gläsernen Röhre den Metallstab CD trägt, der sich nicht nur in der Röhre verschieben, sondern auch vermittelst der Charniere sowohl vertical, als horizontal stellen

läßt. Jeder Stab hat an dem Ende D einen Ring und an dem zugespitzten Ende C eine messingene Kugel, die man auch abnehmen kann.

Der Körper, durch welchen der Schlag gehen soll, wird nun entweder auf das Tischchen gelegt, oder zwischen die Presse eingeschraubt. Die schiebbaren Metallstäbe werden dann mit den entgegengesetzten Seiten des Körpers in Berührung gebracht, und indem der eine mit der äußern Belegung einer Flasche oder Batterie, und der andre mittelst des gewöhnlichen Ausladers mit dem Knopfe der innern Belegung in Verbindung gesetzt wird, nöthigt man den Schlag ganz genau in der bezweckten Richtung durch den Körper zu gehen.

Soll der el. Funken durch verschiedne tropfbare oder elastische Flüssigkeiten gehen, so werden diese in Glasröhren eingeschlossen, und zwei Drähte durch die gegen über stehenden Seiten oder Enden einer jeden Röhre so eingelassen, daß sie sich beinahe in ihrer Mitte begegnen; zwischen den Spitzen dieser Drähte muß der Funke übergehen. S. Fig. 2 und 3. (Desgl. s. die von Biot auf S. 245 angegebenen Anordnungen des Versuchs nebst den Fig. 39 und 40 auf Taf. VII).

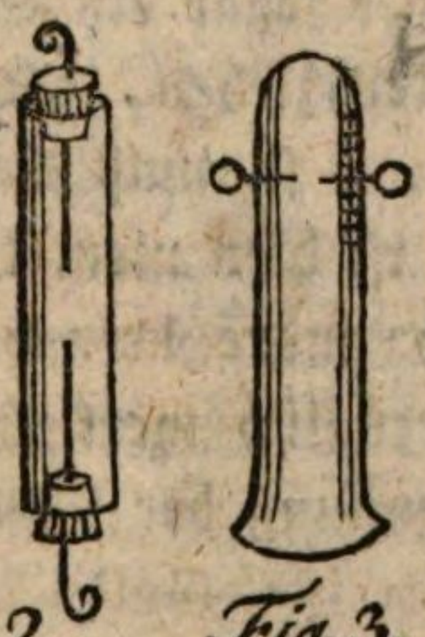


Fig. 2. Fig. 3.

Die unmittelbare Folge des Durchgangs einer el. Ladung durch eine Substanz scheint eine Ausdehnung oder Entfernung der direct auf ihrem Wege befindlichen Theilchen und eine daraus folgende Zusammendrückung derer, die sie umgeben, zu seyn, so daß gewöhnlich das Resultat eines el. Entladungsschlages der Wirkung einer ausdehnenden Kraft gleicht.

Zur Erläuterung mögen mehrere Versuche folgen.

Läßt man einen starken Schlag durch die, 2 Zoll von einander entfernten, Kugeln des allgemeinen Ausladers, die man auf sein Tischchen an ein Stück trocknes Schreibpapier angedrückt hat, gehen, so wird das Papier in Stücke zerrissen. Hat man zwischen sie statt des Papiers eine Anzahl Oblaten auf das Tischchen gelegt, so werden diese beim Durchgehen des Schlages auf eine sonderbare Art auseinander zerstreut und mehrere von ihnen werden zerbrochen.

Sehr merkwürdig ist die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch El.

Ist die Ladung stark, so kann dem plötzlichen Impuls kein Glasgefäß, in welches die Flüssigkeiten eingeschlossen sind, Widerstand leisten. Beccaria ließ einen Schlag durch einen Tropfen Wasser gehen, der sich in der Mitte einer soliden Glaskugel von 2 Zoll Durchmesser zwischen zwei Drahtspitzen befand, und die Kugel wurde mit großer Heftigkeit zerschmettert.

Durch die Seiten eines kleinen Mörsers von Elfenbein, dessen Aushöhlung ½ Zoll weit und 1 Zoll tief ist, lasse man zwei Drähte so gehen, daß zwischen ihren Spitzen in der Aushöhlung des Mörsers ein Zwischenraum von einem Viertelzoll bleibt, und verschließe dessen Oeffnung mit einem ohne Reibung gut einpassenden Korkstöpsel; beim Durchgehen eines starken Schlages durch die Drähte wird die innerlich eingeschlossene Luft plötzlich ausgedehnt und der Korkstöpsel mit Heftigkeit weit weggeschleudert.

Für die chemische Wirksamkeit der El. können folgende Versuche als Belege dienen.

Wird ein, mit Aether oder mit höchst rectificirtem Weingeist gefüllter, isolirter Metallbecher elektrisirt, so läßt sich aus dessen Boden, wenn man über die Oberfläche des Bechers entweder einen Finger, eine messingene Kugel, oder sogar ein Stück Eis hält, durch die flüchtige Flüssigkeit ein Funken ziehen, der sie entzündet. Ist der Weingeist nicht höchst rectificirt, so muß man ihn vor dem Versuch mäßig erwärmen; beim Aether ist dies niemals nöthig.

So lassen sich auch andre brennbare Substanzen durch den el. Funken entzünden. Vorzüglich merkwürdig sind in dieser Hinsicht die Erscheinungen bei Verbrennung der Metalle durch El.

Man lege einen Streifen Gold- oder Silberblatt auf weißes Papier und lasse durch ihn einen starken Schlag gehen; das Metall verschwindet mit einem glänzenden Blitz und das Papier zeigt einen Fleck von Purpur- oder grauer Farbe (von gebildetem Gold- oder Silberoxyd herrührend).

Man nehme drei Platten von Fensterglas, jede 1 Zoll breit und 3 Zoll lang, und zwei schmale Goldblattstreifen, und lege diese so übereinander, daß die mittlere Glasplatte zwischen den beiden Goldbl streifen zu liegen kommt, die über die Kanten des Glases etwas hervorragen müssen; läßt man nun die Ladung einer großen Flasche durch die Goldstreifen gehen, so werden sie geschmelzt und in die Glasoberflächen hineingetrieben. Die äußern Glasplatten werden dabei gewöhnlich zerbrochen, die mittlere bleibt aber meist ganz und bekommt auf beiden Seiten einen unvertilgbaren Metallfleck.

Die, durchs el. Verbrennen der Metalle entstehenden, Farben hat man zu Buchstaben- und Zierath-Druck auf Seide und Papier angewandt. Der Umriß der verlangten Figuren wird auf starkes Papier

gezeichnet und dann ausgeschnitten. Das ausgeschnittene Papier legt man dann auf die zu druckende Seite, darüber ein Goldblatt und über dieses wieder ein Kartenblatt; das Ganze bringt man in eine Presse oder unter ein Gewicht und läßt nun die Ladung einer Batterie durch das Goldblatt gehen. Der Metallfleck beschränkt sich auf die ausgeschnittene Zeichnung, die so sehr nett dargestellt wird.

Läßt man einen starken el. Schlag durch dünne Metalldrähte gehen, so werden sie glühend, zu Kügelchen geschmolzen und oxydirt.

Aus zahlreichen Versuchen haben Brook und Cuthberson gefolgert, daß die Wirkung der El. auf Metalldrähte wie das Quadrat der vermehrten Kraft wächst, indem zwei Flaschen, zu irgend einem Grade geladen, einen Draht schmelzen, der viermal länger ist, als der, den eine von ihnen schmelzt: und eben so wird diese Wirkung vervierfacht, wenn man Einer Flasche die doppelte Ladung giebt. Nach Singer bestätigt sich dies Gesetz wenigstens für mäßige Drahtlängen, und wenn es über eine gewisse Gränze hinaus nicht mehr streng Statt findet, so sucht er den Grund davon darin, daß ein Theil der Ladung beim Durchgang durch eine beträchtliche Länge des feinen Drahts verloren gehe.

Jene Versuche zeigen zugleich, daß irgend eine gegebene Quantität der El. eine und dieselbe Drahtlänge schmelzt, sie mag auf zwei oder nur auf Einer Flasche angesammelt seyn.

Das Schmelzen der Drähte läßt sich hienach als ein Mittel benutzen, die Quantität der, auf irgend einer geladenen Fläche in gebundenem Zustande angesammelten, El. zu messen. Dies ist von Nutzen; denn die gewöhnlichen Elektrometer zeigen nur die Menge der freien, in Spannung darauf befindlichen, El. an.

Die Wirkungen der gradweise Statt findenden Vermehrung der Kraft der Ladung auf Drähte von demselben Durchmesser und gleicher Länge sind sehr merkwürdig. Wenn der Draht aus Eisen oder Stahl besteht, so wird zuerst seine Farbe ins Gelbe verändert, bei vermehrter Ladung ins Blaue, bei einer weitern Vermehrung wird er rothglühend, dann ferner rothglühend und in Kügelchen schmelzend, dann zerstreut er sich in einen Schauer von Kügelchen, und zuletzt verschwindet er mit einem glänzenden Blitz, der einen sichtbaren Rauch hervorbringt, welcher angesammelt ein sehr feines Pulver ist, und aus Oxyd des Metalls besteht. Selbst Metalle, die sich durch Wirkung auch unserer stärksten Feuergrade nicht oxydiren lassen, wie Platin, Gold, Silber, werden es auf diese Weise durch die El. — Das von Brook zuerst bemerkte Gesetz bei der Schmelzung der Metalle scheint auch in Bezug auf ihre Oxydation Statt zu finden.

Zur Oxydation der Metalle ist die Kraft einer großen Batterie

erforderlich, und um sie ganz vollständig zu bewirken, muß sie grö-ßer seyn, als zu ihrer bloßen Schmelzung nöthig ist; auch ist bei jedem Metalle eine verschiedne Quantität hiezu erforderlich.

Zwölftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und von den Blitzab-leitern.

Durch die Entdeckung der Leydner Flasche und der elektrischen Batterieen wurde man auf solche Aehnlichkeiten zwischen den Wirkun-gen einer angehäuften El. und des Blitzes geführt, daß man an ih-rer Analogie nicht mehr zweifeln konnte. Franklin war jedoch der erste, der, nachdem er zur Kenntniß von dem Vermögen der Spitzen, elektrisirte Körper aus der Ferne zu entladen, gelangt war, an die Möglichkeit dachte, durch dies Mittel die Wirkungen der atmosphä-rischen El. wahrnehmbar zu machen und sich vor den Entladungen der-selben zu schützen. Da er sich jedoch in Amerika ohne die, zur An-stellung hieher gehöriger Versuche erforderlichen, Hülfsmittel befand, so munterte er die Physiker Europa's auf, dieselben zu unternehmen. Der erste, der dieser Aufmunterung Folge leistete, war Dalibard, ein französischer Physiker, der zu Marly-la-Ville eine Hütte er-bauen ließ, über welcher eine, am untern Theile isolirte, Eisenstan-ge von vierzig Fuß Länge aufgerichtet war. Als eine Gewitterwolke über den Zenith dieser Stange hinzog, gab sie bei Annäherung des Fingers Funken, und zeigte alle andern Erscheinungen, welche die, durch unsre gewöhnlichen Maschinen elektrisirten, Conductoren darbie-ten. Der Tag, wo dieser bemerkenswerthe Versuch zum erstenmal angestellt wurde, war der 10te May 1752.

Bald richtete man solcher Apparate mehrere ins Werk, an denen jedoch sämmtlich die mangelnde Isolirung ihrer Basis zu tadeln war; weil man diese nämlich nicht vor dem Regen geschützt hatte, so ge-währte sie dem Entweichen der El. eine freie Leitung. Canton kam auf den Gedanken, diesem Mangel dadurch abzuhelfen, daß er am untern Ende der Metallstange einen Hut von Metall anbrachte, der den isolirenden Träger bedeckte und dadurch vor dem Regen schützte. Mittelst des, so verbesserten, Apparats fand er, daß manche Wolken mit positiver, andre mit negativer El. geladen waren; so daß die El. des Apparats oft fünf- bis sechsmal in einer halben Stunde wechsel-te. Regen und Schnee elektrisirten ihn auch beim Fallen, Erscheinun-

gen die im Winter wie im Sommer Statt hatten. Um der Mühe überhoben zu seyn, sehr oft und häufig ohne Nutzen nach dem Apparate zu sehen, brachte Canton einen ausnehmend sinnreichen Apparat daran an, welcher in Fig. 41 vorgestellt ist. Er besteht aus drei Glöckchen T, T_1, T_2, die an dem nämlichen horizontalen Metallstab AB, Fig. 41, aufgehangen sind, die mittlere T an einem Seidenfaden, die beiden andern an Metallketten. Das Glöckchen T steht überdies mit dem Boden durch eine andre, unten an ihm angebrachte, Metallkette in leitender Verbindung. Zwischen diesen Glöckchen hängen an Seidenfäden kleine Metallkugeln b, b_1. Offenbar nun, wenn der Stab AB mit dem verticalen Leiter in Verbindung gesetzt wird, welcher die El. der Atmosphäre aufnimmt, muß diese El. sich zuvörderst zu den beiden äußersten Glöckchen T_1, T_2 durch die Metallketten, an denen sie hängen, fortpflanzen. Dann werden die Metallkugeln b, b_1 von diesen Glöckchen angezogen werden, und sie berühren, sogleich aber wieder abgestoßen werden, und dagegen angezogen von dem mittlern Glöckchen T, welches mit dem Boden in Verbindung steht. Sie werden sich also zu diesem hinbewegen, an dasselbe ihre El. verlieren, und sich dann abermals durch Berührung der beiden äußersten Glöckchen laden. Dies fortwährende Hinundwiederschwingen der kleinen Kugeln wird ein Erklingen der Glöckchen bewirken, und so auf die Gegenwart der El. aufmerksam machen. Man nennt diesen Apparat ein elektrisches Glockenspiel (carillon électrique).

Franklin in Amerika verfolgte indeß seine Ideen weiter, die in der That sein Interesse wohl zu beschäftigen verdienten. In Ermangelung sehr hoher Gebäude kam er auf den Einfall, die El. aus den Wolken auf die Erde längs der Schnur eines fliegenden Drachen herabzuleiten; und, nach Newtons schönen Versuchen über die Farben der Seifenblasen, war dies das zweitemal, daß die Physik in Kinderspielwerken Werkzeuge der interessantesten Entdeckungen fand. Aber Franklin dachte selbst nicht an die außerordentliche Gefahr, welcher er sich hiebei aussetzte. Sein Drache war gestiegen, er hielt die Schnur desselben in der Hand; allein noch gab sie kein Zeichen von El., obwohl der Drache einer Wolke nahe schwebte, die mit Blitzen schwanger schien. Schon fürchtete Franklin, sich in seinen Vermuthungen getäuscht zu haben; als jedoch ein kleiner Regen die Schnur näßte und dadurch ihr Leitungsvermögen verstärkte, glückte es Franklin, einige Funken aus ihr zu erhalten. Man muß ihn selbst die Freude schildern hören, die er beim Anblick dieser, von ihm vorhergesehenen, Erscheinung empfand. Wäre aber die Schnur ganz feucht gewesen, oder hätte sie aus einem besser leitenden Stoff bestanden, so würde dieser berühmte Mann seine Kühnheit wahrscheinlich mit dem

Leben bezahlt haben; und alles, was er noch nachher Großes und Nützliches für Wissenschaften, Philosophie und Freiheit ausführte, wäre für uns verloren gewesen.

In Frankreich wurde der nämliche Versuch von de Romas auf eine weit vollkommnere Weise wiederholt, mochte er nun selbst darauf gefallen, oder durch Franklins Versuch darauf geleitet worden seyn. Er faßte den Gedanken, einen ganz feinen Eisendraht in die Schnur des Drachen einzuflechten [1]); und, um den Beobachter außer den Bereich unvorgesehener Entladungen zu setzen, ließ er das untere Ende der Schnur in eine Seidenschnur von acht bis zehn Fuß Länge ausgehen, mittelst deren der Drache und Draht isolirt waren. Anstatt ferner die Funken mit dem Finger auszuziehen, wobei der Beobachter den Entladungsschlag selbst erhält, zog sie Romas mittelst eines metallnen Leiters aus, der mit dem Boden durch eine Metallkette in Verbindung stand, und in der Hand mittelst eines isolirenden Handgriffs gehalten wurde, so daß er im Grunde ganz unsern gewöhnlichen Auslader darstellte. Nachdem nun Romas seinen Apparat mit allen diesen, von der Klugheit erheischten, Vorsichtsmaßregeln eingerichtet hatte, ließ er ihn ohne weiteres Bedenken in die gewitterhaftesten Wolken steigen; und bei einem seiner Versuche, während eines Gewitters, das sich weder durch starke Blitzschläge noch reichlichen Regen auszeichnete, lockte er ganze Stunden hindurch Feuerstralen von mehr als zehn Fuß Länge heraus. „Stellen Sie sich, schrieb er an Nollet, den Anblick von Feuerstreifen vor, von neun bis zehn Fuß Länge und einem Zoll Dicke, die eben so viel oder noch mehr Geräusch, als Pistolenschüsse machten. In noch weniger als einer Stunde erhielt ich gewiß dreißig Streifen von diesen Dimensionen, ungerechnet tausend andre von sieben Fuß und drunter. Was aber meine Zufriedenheit bei diesem neuen Schauspiel vorzüglich erweckte, war, daß die größten Feuerstreifen von selbst hervorbrachen, und, ungeachtet der großen Masse Feuers, aus der sie bestanden, stets auf den zunächst befindlichen Leiter fielen Da ich dies immer ohne Ausnahme so erfolgen sahe, ward ich so sicher, daß ich mich nicht scheute, das Feuer, bei ziemlich lebhaftem Gewitter, mit meinem Auslader hervorzulocken; und wenn die Glasarme dieses Instruments nur zwei Fuß Länge hatten, so vermochte ich mittelst desselben, ohne die geringste Erschütterung in meiner Hand zu spüren, Feuerstreifen von sechs bis sieben Fuß eben so leicht, wohin ich wollte, zu leiten, als Streifen blos von sieben bis acht Zoll." Diese Beschreibung allein reicht schon hin, zu zeigen,

---

1) Zweckmäßiger ist es, nach Hrn. Charles Beispiel, eine übersponnene Metallsaite anzuwenden.

daß dergleichen Versuche nur mit außerordentlicher Vorsicht unternommen werden dürfen. In meinem größern Werke finden sich die hiezu erforderlichen Maßregeln, welche die Theorie an die Hand giebt, und mittelst deren sich dies erstaunenswürdige Schauspiel ohne Gefahr beobachten läßt, auseinandergesetzt. Eine jedoch darf ich auch hier nicht übergehen, weil sie die wichtigste ist, und ihre Anwendung auch auf die, nach Canton's Art errichteten, Metallstangen findet. Man muß nämlich nahe am untern Ende solcher Stangen oder der Schnur des fliegenden Drachen einen dicken Eisenpfahl entweder zum Theil in die Erde einsenken, oder mit einer großen Wassermasse in Verbindung setzen. Wenn das Ausströmen der El. so stark wird, daß es Gefahr drohen könnte, so gehen die Entladungsschläge eher auf den vorspringenden Theil des metallnen Leiters als irgend andre Körper über, die sich in etwas größerer oder auch derselben Nähe befinden. Bei Beobachtung dieser Vorsicht kann man von der Erscheinung Zeuge seyn, ohne etwas fürchten zu dürfen.

Steht der Satz einmal fest, daß der Blitz ein el. Entladungsschlag ist, so läßt sich nicht zweifeln, daß die El. einer Gewitterwolke, gleich der unsrer Maschinen, durch die Wirkung von Spitzen beträchtlich geschwächt zu werden vermag. Diese Folgerung entging, wie schon gesagt, Franklin keineswegs; denn darin zeigte sich ganz vorzüglich sein Genie, daß er eben so schnell die nützlichen Anwendungen neuer Thatsachen auffaßte, als diese Thatsachen selbst entdeckte. Als er über die Natur des Blitzes im Reinen war, war sein nächster Gedanke, denselben durch das Vermögen, was er an den Spitzen erkannt hatte, zu neutralisiren, und so wurde er Erfinder der Blitzableiter (paratonnerres).

Man giebt diesen Namen den zugespitzten Metallstangen, welche auf dem höchsten Theile der Gebäude, Schiffsmasten u. s. w. aufgerichtet werden. Eins ihrer Enden, welches in die Spitze ausgeht, taucht in die Atmosphäre, das andre steht mit dem Boden in leitender Verbindung. Die Wirkung dieser Vorrichtungen ist die, die El. der Wolken einzusaugen oder zu neutralisiren, und ohne Explosion ins Innere der Erde überzuführen. In den funfzig Jahren, seit welchen sie in Gebrauch sind, hat sich ihr Nutzen durch eine große Menge von Beispielen bewährt: auch leuchtet er nach der Theorie ein. Wenn eine el. Wolke so nahe vorüberzieht, daß ihr vertheilender Einfluß bemerklich werden kann, so zersetzt sie die natürlichen Elektricitäten der Stange, treibt die gleichnamige in den Boden zurück, und zieht die ungleichnamige an, die sich an das höchste Ende der Spitze begiebt, und dort eine um so stärkere Intensität erlangt, als die Wirkung der Wolke kräftiger ist. In Folge dessen müssen sich die feuchten Luft-

theilchen, welche zwischen den Wolken und dem Ableiter befindlich sind, auf letztern mit großer Schnelligkeit niederschlagen, an ihn die El. verlieren, die ihnen die Wolke ertheilt hatte, statt dessen sich mit einer sehr kräftigen El. entgegengesetzter Beschaffenheit laden, darauf die, sie jetzt abstoßende, Spitze fliehen, sich nach der Wolke hinbegeben, und die El. aller derer ihrer Theilchen neutralisiren, welche sich auf ihrem Wege befinden, bis die Wolke durch diese hin und wiedergehende Bewegung der Lufttheilchen gänzlich entladen ist. In der Regel also muß diese Entladung ohne Explosion erfolgen, und alle Körper, die sich in geringer Entfernung unterhalb des Gewitterableiters befinden, werden durch ihn geschützt werden. Wenn jedoch in einem außerordentlichen Fall dieser rasche Abfluß der El. noch nicht zureicht, und wirklich ein Entladungsschlag erfolgt, so muß er unfehlbar auf die Spitze fallen, weil an ihr die gegenseitige Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten ohne Vergleich am kräftigsten ist; und wirklich hat die Erfahrung hierin vollkommen die Theorie bestätigt. Kurze Zeit, nachdem die Anwendung dieser Erfindung in Gang gekommen war, zeigte man der Akademie der Wissenschaften die Spitze eines Blitzableiters vor, welche einen so starken Entladungsschlag erhalten hatte, daß sie geschmolzen worden war, wie ein Eisendraht durch unsre Batterieen. Dieser furchtbare Entladungsschlag jedoch, der sonst unfehlbar das Haus, auf welches er fiel, zu Grunde gerichtet hätte, ließ nicht einmal die leichteste Erschütterung verspüren, und wurde nur an dem heftigen Geräusch, das er erregte, wahrgenommen.

Ein ganz einfacher Versuch kann dienen, eine anschauliche Vorstellung von der Wirkung der Blitzableiter auf die elektrisirten Wolken zu gewähren. Man hänge an die Conductoren einer Elektrisirmaschine einen Leinfaden auf und befestige an das untere Ende desselben einen Flocken gekrempelter Baumwolle, der recht wohl eine Wolke versinnlichen kann. Man elektrisire das Ganze und biete der Baumwolle, nicht eine Spitze, sondern einen kugelförmigen, mit der Erde in leitender Verbindung stehenden, Körper dar; sogleich wird der Flocken angezogen, und es springt ein Funken zwischen beiden Körpern über. Bietet man aber anstatt einer Kugel dem Flocken eine nicht isolirte Spitze in großer Ferne dar, so entladet er sich erst unmerklich seiner El., kehrt darauf zu den Leitern zurück, um sich abermals zu laden, und nähert sich dann wieder der Spitze um sich aufs Neue zu entladen. So kann man mehrere Baumwollenflocken an Fäden von verschiedener Länge aufhängen, und man wird successiv die einen sich gegen die andern aufwärts umrollen sehen, gerade wie sich auch die untern Flocken eines Gewölkes, welche durch einen Blitzableiter entla-

den worden sind, nach den obern noch elektrisirten Theilen desselben Gewölkes successiv umrollen müssen.

Da nun über die Wirksamkeit und den Nutzen der Blitzableiter kein Zweifel obwalten kann, so ist die Untersuchung von Wichtigkeit, welches ihre vortheilhafteste Einrichtung sey. Zwei Bedingungen scheinen hiebei am wesentlichsten in Betracht zu kommen. Erstens muß die leitende Verbindung zwischen dem Boden und den verschiedenen Metallstäben, aus denen der Apparat besteht, aufs Vollkommenste ins Werk gesetzt seyn; zweitens müssen die leitenden Stäbe eine solche Dicke haben, daß auch bei den stärksten Entladungsschlägen die Quantität der El. noch durch ihre Substanz abfließen könne, ohne eine so starke Repulsivkraft zu erlangen, um auf die nebengelegenen Gegenstände abzuspringen. Der Gesammtheit der bisher beobachteten Beispiele nach zu urtheilen scheinen Stäbe von einem Zoll ins Gevierte oder Verbindungen dicker Eisendrähte von gleichgeltender Dimension diesem Zweck vollkommen zu genügen.

Unter genauer Erfüllung dieser Bedingungen ist, der Theorie wie der Erfahrung zufolge, die Nähe und selbst die Berührung eines Blitzableiters ganz gefahrlos, da der el. Entladungsschlag immer den besten Leitern nachgeht, und mithin eher auf die Metallstäbe des Blitzableiters als auf irgend einen andern, in der Nähe befindlichen, Körper fällt. So, wenn man durch ein, mit Schießpulver gefülltes, Paquet einen Draht hindurchsteckt, kann man ohne Gefahr durch denselben alle el. Entladungsschläge durchgehen lassen, welche nicht fähig sind, ihn zu schmelzen, oder so stark zu erhitzen, daß er das Pulver durch seine Berührung entzündet. Eben so kann man einen Vogel an einen Conductor der Maschine aufhängen, die Batterie laden und wieder entladen; der Vogel wird keine Wirkung davon verspüren, obwohl er sich alsdann auf dem Wege der El. befindet. Endlich, wenn man den Körper mit einer metallnen Schnur umwindet, deren Enden man in den Händen faßt, so kann man durch diese Schnur ohne Gefahr die stärksten Batterieen entladen, indem man sich, wie den Vogel, in dem Schließungskreise isolirt. (S. auch die Zusätze zu vorigem Capitel).

Bei solchen Versuchen verspürt man manchmal eine kleine augenblickliche Erschütterung, die aber ohne Vergleich schwächer, als der Entladungsschlag der Batterie ist. Sie rührt daher, daß die, in der Batterie angehäufte, El. sich nicht mit vollkommner Freiheit fortpflanzt, und ihre Entladung somit nicht in einem einzigen untheilbaren Augenblick erfolgt, was für einen guten Leiter man ihr immer darbieten mag. Während der Zeit ihres Durchgangs nun wirkt sie vertheilend auf die natürlichen Elektricitäten der Körper, welche diesen Leiter be-

rühren, und bringt eine, nur einen Augenblick währende, Trennung derselben hervor; das Gleichgewicht stellt sich sogleich wieder her, aber die schnelle Abwechslung dieser beiden Zustände reicht hin, eine Erschütterung in den betheiligten Organen hervorzurufen. Es leuchtet hienach von selbst ein, daß diese Wirkung um so schwächer seyn muß, je vollkommner und dicker die Leiter sind, durch welche man die Schließung der Kette der Batterie bewerkstelligt.

Um diese Erscheinung nachzuweisen, isolire man einen cylindrischen Conductor AB, Fig. 42, und setze ihn mit der äußern Fläche einer, mit dem Boden in leitender Verbindung stehenden, Batterie in Berührung. Dem einen Ende dieses Conductors gegenüber stelle man einen andern, A'B', der ebenfalls isolirt, aber vom ersten durch einen kleinen Zwischenraum geschieden ist. Im Augenblick der Entladung springt ein Funken aus dem ersten Conductor zum zweiten über, und ein, auf letzterm angebrachtes, Elektroskop steigt und fällt in einem Augenblick. Fügt man an diesen zweiten Conductor den, in Fig. 40 vorgestellten, Apparat, indem man seinen Hut mit dem Conductor A'B' und seinen Draht mit der Erde in Verbindung setzt, so wird das, darin enthaltene, Gasgemenge durch die seitliche Entladung entzündet werden.

Die einzige Gefahr, die von den Blitzableitern zu fürchten wäre, bestände somit einzig in diesem seitlichen Schlage, den man aber nach Willkür schwächen kann, indem man die Dimensionen und das Leitungsvermögen des Körpers, durch welchen man die El. abfließen läßt, verstärkt. Theorie und Erfahrung vereinigen sich dahin, daß dieser Schlag ohne Vergleich geringer ist, als der direkte Entladungsschlag; und wie stark müßte nicht in den Fällen, wo er bei einem Blitze merklich werden könnte, erst die unmittelbare Entladung des Blitzes gewesen seyn, wenn er keinen metallnen Leiter zum Abfließen in den Boden gefunden hätte?

Man hat manchmal bei Gewittern Thiere und Menschen im Augenblick eines Blitzschlags plötzlich todt niederfallen sehen, obwohl der Schlag in einer großen Entfernung von dem Orte, wo sie sich befanden, geschahe. Die Erklärung solcher Vorfälle ergiebt sich leicht aus unsern angestellten Betrachtungen. Denken wir uns eine stark elektrisirte Wolke, deren beide Enden nach der Erde herabhängen; sie werden in derselben die El., welche mit der ihrigen von derselben Beschaffenheit ist, zurücktreiben und die entgegengesetzte anziehen. Wenn durch irgend einen Umstand eine plötzliche Entladung an einem Ende der Wolke bewirkt wird, so wird sich das Gleichgewicht sogleich an der Stelle der Erde, welche sich unter dem andern Ende befindet, wiederherstellen; und diese plötzliche Wiederherstellung wird, wenn die Entladung sehr stark ist, den Tod der Thiere oder Menschen bewir-

ken können, welche von ihr mit betroffen werden. Man nennt diese Erscheinung den Rückschlag (choc par retour).

Folgender Versuch kann diesem zur Erläuterung dienen:

Man hänge an einer seidnen Schnur einen lebendigen Frosch in einiger Entfernung vom Conductor einer Elektrisirmaschine auf, wie Fig. 43 vorstellt; befestige an eins seiner Beine eine ganz leichte und biegsame Metallschnur, um ihn mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen; setze darauf die Maschine in Gang, und ziehe, so wie sich die El. entwickelt, von Zeit zu Zeit Funken aus dem ersten Conductor mittelst eines hingehaltenen, in eine Halbkugel ausgehenden, Metallstabs. Bei jedem Entladungsschlag wird man den Frosch zucken sehen, obwohl er sich nicht in der Kette der Leiter befindet; seine natürlichen Elektricitäten, welche durch vertheilenden Einfluß des Conductors getrennt waren, treten jedesmal, wenn dieser Einfluß aufgehoben wird, plötzlich wieder zusammen, und bringen dadurch eine Erschütterung in den Organen des Thiers zuwege.

Diese Wirkungen erfolgen selbst noch nach dem Tode: um sie dann in voller Stärke zu beobachten, muß man den Frosch schnell tödten, indem man ihn quer durchschneidet, worauf man ihm die Haut abzieht, und ihn präparirt, wie Fig. 44 zeigt. Die Reizbarkeit eines solchen Präparats ist so bedeutend, daß an ihm noch Muskelcontractionen durch die Wirkung einer starken Maschine in der Entfernung von zehn bis zwölf Metern (30 bis 36 Fuß) hervorgebracht werden. Diese, an sich einfache, Erscheinung zeigt, daß die Froschmuskeln ausnehmend empfindliche Elektroskope sind. In einem der folgenden Capitel wird man sehen, wie diese große Empfindlichkeit die zufällige Veranlassung zu einer der schönsten Entdeckungen in der Physik ward.

Unsre bisherigen Betrachtungen bezogen sich nur auf die atmosphärische El. in dem gewaltsamen und vorübergehenden Zustande, in welchem sie sich während der Gewitter zeigt; indeß läßt sich wohl erwarten, daß, wenn man dem Apparat, welcher sie bemerklich zu machen dient, eine größere Empfindlichkeit ertheilt, sie auch noch dann wird zur Wahrnehmung gebracht werden können, wenn sie für gröbere Instrumente verschwunden scheint. Man hat zu diesem Zweck das Mittel ersonnen, das Strohhalm- oder Goldblatt-Elektroskop mit einem spitzigen Metallstabe zu versehen, den man mit seinem untern Ende an den obern Theil des, mit den Strohhalmen in Verbindung stehenden, Schafts anschraubt, Fig. 45. Gewöhnlich giebt man diesem Stab einen Meter Länge oder setzt ihn aus mehrern in einandergesteckten Stäben zusammen, um seine Länge nach Willkür abändern zu können. Dies Instrument giebt zu erkennen, daß die Atmosphäre,

wenn sie rein ist, sich beständig in positiv elektrischem Zustande befindet; allein das geringste Gewölk, die schwächsten Dünste reichen hin, Abänderungen hierin hervorzubringen. Noch mehr gilt dies von gewaltsamen Störungen des gewöhnlichen Gleichgewichts der Temperatur, z. B. durch heftige Winde, Regen, Schnee, Hagel oder Gewitter.

Das Coulombsche Elektroskop, welches sich als ein so bequemes und empfindliches Instrument für alle andere Versuche erweist, kann auch sehr gut zur Beobachtung dieser Erscheinungen dienen. Man braucht nur sein festes Stäbchen in Verbindung mit einem isolirten Metallstab zu setzen, gleich dem, womit das Goldblattelektrometer versehen wurde, wo dann die geringsten Veränderungen, die im el. Zustande der Atmosphäre vor sich gehen, durch ihre Wirkung auf das bewegliche Scheibchen merkbar werden, besonders wenn man es vorher mit einer kleinen Quantität bekannter El. ladet. Coulomb bediente sich nicht einmal der Hülfe eines Metallstabs oder eines beständigen Leiters. Er befestigte eine kleine Metallkugel an das Ende eines Siegellackstäbchens, welches sie zu isoliren diente, und brachte dasselbe am Ende einer hölzernen Stange von 1 bis 2 Metern Länge an. Um nun den el. Zustand der Luft zu prüfen, hielt er die Stange in der Luft in die Höhe, und berührte die kleine Kugel auf einen Augenblick mit einem Metallstab oder auch blos mit einem einfachen Metalldraht, den er in der Hand hielt. Nach geendigter Berührung senkte er die kleine Kugel, die vermöge ihrer Isolirung die erlangte El. beibehielt, und bot sie dem beweglichen Scheibchen des Elektroskops dar, auf welches sie sogleich wirkte. Dieser Versuch gelingt stets, wenn das Elektroskop an einem freien Platz befindlich ist, wohin die Luft ungehinderten Zutritt hat, und wo der el. Zustand der, nahe am Boden befindlichen, Schichten nicht durch die Nähe leitender Körper, als z. B. Bäume und Wände von Häusern sind, Modificationen erfährt.

Die Intensität dieser, gewöhnlich in der Luft vorhandnen, El. nimmt zu, je höher man in der Atmosphäre hinauf kommt. Dies leitete Saussure'n auf den Gedanken, um die atmosphärische El. leichter bemerkbar zu machen, eine schwere Kugel in die Luft zu werfen, welche an einem ganz feinen Metalldraht befestigt war, dessen unteres, um den Schaft des Elektroskops geschlungenes, Ende an demselben durch den schwachen Druck seiner eignen Spannkraft festgehalten wurde. Beim Fortschleudern der Kugel wickelt sich dieser Draht auf, und theilt dem Elektroskop die nämliche Art El. mit, welche die höchste Schicht besitzt, bis zu welcher sich die Kugel erhoben hat. Durch die weitere Fortbewegung der Kugel wird aber der Draht ganz ab-

gewickelt, er löst sich vom Schaft des Elektroskops, und dieser bleibt isolirt mit der El., die er erlangt hat, zurück.

Als wir, Gay-Lussac und ich, uns im Luftballon erhoben, um Versuche anzustellen, die ich bei Abhandlung des Erdmagnetismus anführen werde, sammelten wir gleichfalls die atmosphärische El. durch ein, dem von Saussure angewandten, ähnliches Verfahren. Ein Metallfaden von funfzig Metern Länge war an einem Ende unsrer Gondel aufgehangen, und hing frei herab, durch das Gewicht einer Metallkugel gespannt. Er brachte uns auf diese Weise in leitende Verbindung mit einer Luftschicht, welche sich funfzig Meter tiefer befand, als diejenige, in welcher wir schwebten. Die, oben an diesem Draht angesammelte, atmosphärische El. war am Elektroskop sehr bemerkbar, und durch Prüfung mit Siegellack erkannten wir, daß sie negativer Beschaffenheit sey, obwohl das Wetter sich vollkommen heiter zeigte.

Dies Resultat scheint mit dem, welches Saussure fand und nach ihm mehrere Physiker bestätigten, in Widerspruch zu stehen; doch ist dieser Widerspruch nur scheinbar, und die eine Thatsache läßt sich sehr wohl mit der andern vereinigen. Dies darzuthun, wollen wir unsern Faden durch AB, Fig. 46, vorstellen, und durch seine beiden Enden zwei horizontale Ebenen legen, welche die Atmosphäre in drei Abtheilungen scheiden, deren eine zwischen den Enden des Fadens, die andern nach oben oder unten darüber hinausliegen. Gesetzt nun, die Atmosphäre befinde sich wirklich in einem positiv elektrischen Zustande, der mit den Höhen zunimmt. Man wird diese El. nur für schwach und ihren Anwachs für nicht sehr beträchtlich annehmen können, zumal in einer Dicke von 50 Metern. Betrachten wir nun zuvörderst die Wirkungen der beiden äußersten Schichten. Es handelt sich hier nicht um ihre Wirkung durch Berührung; denn diese muß eine gewisse Zeit brauchen, um sich fortzupflanzen, sondern von der vertheilenden Wirkung ihrer freien Elektricitäten auf die natürlichen Elektricitäten des Fadens aus der Ferne. Der obere Theil S nun, der sich in positivem Zustande befindet, zieht die negative El. des Fadens mit einer Kraft an, die ich durch + N vorstellen will, und stößt die positive mit einer Kraft ab, die ich durch + P bezeichnen werde. Die untere Schicht S' wird die nämliche Wirkung nach umgekehrter Richtung ausüben; aber mit mindrer Kraft, weil der Annahme zufolge die Intensität der positiven El. mit den Höhen zunimmt. Es mögen also p und n die beiden Kräfte seyn, die sie ausübt. Hienach ist klar, daß die negative El. des Fadens nach seinem obern Theil mit einem Uebergewicht von Kraft gleich N—n angezogen, und die positive nach seinem untern Theil mit einem Kraftüberschuß gleich P—p abgestoßen

werden wird. Uns also, welche die El. am obern Theil des Fadens beobachteten, müßte dieselbe negativ erscheinen. Saussure dagegen, der sie am untern Ende nahm, mußte sie positiv finden.

Noch haben wir die Wirkung der Zwischenschicht AB nicht betrachtet, in welcher sich der Faden befindet. Wäre diese Schicht in ihrer ganzen Höhe gleichförmig elektrisch, so würden ihre Wirkungen oberhalb und unterhalb der Mitte des Fadens sich von selbst ausgleichen, und keine Zersetzung der natürlichen Elektricitäten des Fadens zur Folge haben. Bei einer Zunahme aber der positiven El. mit den Höhen, müssen offenbar die Wirkungen aller einzelnen Molecule der Schicht sich zu einer Gesammtwirkung der nämlichen Art, als von der obern Schicht ausgeübt wird, vereinigen, so daß sich die Wirkung letzterer um diese Gesammtwirkung vermehrt findet; und eben so wird der endliche Erfolg dadurch verstärkt werden, wofern nur die Dicke dieser Mittelschicht bedeutend genug ist, daß ihre Wirkung in Betracht gegen die Wirkungen der obern und untern Abtheilung der Atmosphäre kommt.

Die nämliche Erklärungsart läßt sich auf folgenden Versuch von Hermann anwenden. Ein sehr empfindliches Goldblatt-Elektroskop wird bei heiterm Wetter in einer gewissen Höhe der Atmosphäre festgestellt. Es giebt hier kein merkbares Zeichen von El. Man bringt nun in eine höhere Luftschicht, blos einige Fuß über das Elektroskop, einen Metalldraht oder sonst einen Leiter, der horizontal an dem Ende eines Isolirstabes angebracht ist, hält ihn einige Zeit in dieser Schicht, und senkt ihn dann rasch auf das Elektroskop herab, bis er es berührt; sogleich divergiren die Goldblättchen vermöge positiver El. Bringt man dagegen den isolirten Leiter in eine Schicht, welche tiefer als das Elektroskop gelegen ist, und hebt ihn, nachdem man ihn einige Zeit in dieser Schicht gelassen hat, schnell in die Höhe, so ertheilt er dem Elektroskop negative El.

Diese Erscheinungen finden ihre Erklärung in der Bemerkung, daß der bewegliche Leiter jedesmal den Grad der El. annimmt, welche der Schicht, in die man ihn bringt, zukommt. Wird er alsdann schnell genug zurückgeführt, daß sein Zustand nicht ganz durch die Berührung der Luftmolecule, durch welche er hindurchgeht, aufgehoben zu werden vermag, so theilt er diesen Zustand dem Elektroskop mit; führt ihm, wenn er von oben herab kommt, einen Ueberschuß positiver El. zu; einen Mangel derselben dagegen, wenn er von unten herauf kommt. Es stelle allgemein + E die Quantität freier positiver El. vor, die der isolirte Leiter besitzen muß, um in der Luftschicht, in welcher sich das Elektroskop befindet, in elektrischem Gleichgewicht zu seyn; so daß, wenn er + E besitzt, die Molecule dieser Schicht ihm

weder etwas geben noch nehmen. Man bringt ihn nun in eine höhere Schicht, wo er E + δE annimmt: wenn man mit δE den kleinen Zuwachs positiver El. bezeichnet, den er daselbst erlangt. Wird er nun in die Schicht des Elektroskops wieder herabgeführt, so hat er + δE zu viel, und theilt diesen Ueberschuß allen Körpern mit, die er berührt, mithin auch dem Elektroskop, wenn er rasch mit ihm in Berührung gebracht wird, und, bis dieses durch die Luft des, ihm so mitgetheilten, Ueberschusses beraubt worden ist, werden seine Streifen vermöge positiver El. divergiren. Wird dagegen der isolirte Leiter aus tiefern Schichten herauf gebracht, so hat er E — δE, so daß er, um sich wieder bis zu E zu sättigen, noch + δE positive El. mitgetheilt erhalten muß. Setzt man ihn nun mit dem Electroskop in Berührung, so wird dies an seinem Zustande Antheil nehmen; die Quantität positiver El, welche es dann noch besitzt, wird dem vertheilenden Einfluß der umgebenden Luftmasse nicht mehr das Gleichgewicht halten können, und seine natürlichen Elektricitäten werden zersetzt werden. Allein der Theil positiver Flüssigkeit, welcher durch diese Zersetzung frei wird, kann die Goldblättchen nicht zum Divergiren bringen, weil seine ganze Repulsivkraft darauf verwandt wird, die der äußern El. E auszugleichen. Also wird nun die Repulsivkraft der negativen Flüssigkeit ihre Wirksamkeit frei äußern, da sie durch nichts ausgeglichen wird, und die Goldblättchen werden vermöge dieser El. divergiren, bis dieselbe durch die unmittelbare und successive Berührung der Luftmolecule fortgenommen und neutralisirt worden ist. Die Versuche dieser Art bieten den besondern Fall eines unbegränzten Mittels dar, der Luft, in welchem jedes einzelne Molecul mit einem Ueberschuß von gleichartiger, an seiner Oberfläche haftender, El. geladen ist, so daß die ganze Masse des Mittels sich in einem, mit den Höhen veränderlichen, Verhältniß davon durchdrungen findet. Hier können die verschiednen Theilchen dieses Mittels sich nicht anders in Ruhe befinden, als wenn sich ihre Repulsivkräfte verbunden mit ihrer Schwerkraft wechselseitig aufheben, und die nämliche Bedingung gilt auch für die hineingetauchten leitenden Körper. Für alle diese Körper wird demnach das elektrische Gleichgewicht nicht Statt haben, wenn ihre natürlichen Elektricitäten vollkommen neutralisirt sind, sondern, wenn sie den Ueberschuß der einen oder andern El. besitzen, welcher der Schicht, in der sie sich befinden, zukommt, ein Ueberschuß, der in reiner Atmosphäre positiv ist. Besitzen sie einen größern Ueberschuß von dieser nämlichen El., so werden sie blos vermöge dieses Ueberschusses auf einander, und auf alle umgebenden Luftmolecule, wirken: werden sich mithin wechselseitig abstoßen müssen. Ist dagegen der Ueberschuß von El., den sie besitzen, geringer, als der, den sie in der Schicht, worein man sie

bringt, von selbst angenommen haben würden, so wirkt die Masse des Mittels auf jeden derselben vermöge dieser Differenz; und ihre natürlichen Elektricitäten werden in dem Grade zersetzt werden, als erforderlich ist, um das, was ihnen fehlt, um der El. des Mittels das Gleichgewicht zu halten, zu ergänzen. Vermöge dieses Zusatzes nun werden sie das Mittel eben so stark abstoßen, als dieses sie selbst abstößt, und keine Wirkung mehr von ihm erfahren. Allein auf einander selbst werden sie vermöge der, durch die Zersetzung gewonnenen, El., welche der des Mittels entgegengesetzt ist, wirken; und, wenn das Mittel eine unbegränzte Flüssigkeit ist, bestehend aus Theilchen, die sich durch Berührung elektrisiren lassen, so wird dieser Ueberschuß allmälig an dasselbe verloren gehen. Sehr viel interessante Versuche würden sich anstellen lassen, um die Gesetze des elektrischen Gleichgewichts unter Umständen nachzuweisen, die von den gewöhnlich in Betracht gezogenen so abweichend sind.

Zusätze über die atmosphärische Elektricität.

Ueber die Quelle der atmosphärischen El. ist man noch keineswegs im Klaren; gewöhnlich wird sie von der, beständig auf unserer Erdoberfläche vor sich gehenden Verdunstung abgeleitet; indem auch bei der Verdunstung El. frei wird; doch läßt diese Annahme noch Vieles unerklärt.

Andrew Crosse stellte viele Beobachtungen mit einem sehr großen Leiter in der Atmosphäre an, der aus einem, $\frac{1}{16}$ Zoll starken Kupferdrahte bestand, welcher isolirt an 100 bis 110 Fuß hohen Masthäumen befestigt war. Anfänglich hatte er diesen isolirten Draht auf $1\frac{1}{4}$ Meile lang ausgespannt; da aber bei dieser Länge alle mögliche Vorkehrungen zur Erhaltung seiner Isolirung nichts halfen, so fand er es für gut, ihn bis 1800 Fuß zu verkürzen. Er fand durch achtzehnmonatliche Beobachtung außer mehrern andern Resultaten, folgende:

An heitern Wintertagen ist die positive El. stärker, als an schönen Sommertagen. Die Intensität der elektrischen Zeichen zu verschiednen Zeiten ist von der stärksten Wirkung in abnehmender Ordnung folgende: a) Während des Bestehens eines förmlichen Gewitters; b) bei einem fortstreichenden Nebel, von etwas Regen begleitet; c) beim Fallen des Schnee's oder einem raschen Hagelsturm; d) bei einem schnellen Regenschauer, besonders an einem heißen Tage; e) bei heißem Wetter, das auf mehrere nasse Tage folgt; f) bei Regenwetter nach mehrern trocknen Tagen; g) bei heiterm Frost, sowohl am Tage, als in der Nacht; h) bei heiterer, warmer Witterung im

Sommer; i) bei einem, durch Wolken ganz getrübten, Himmel; k) bei einem nur hin und wieder mit Wolken bedeckten Himmel; l) bei schwülem Wetter und hellen Nebelwolken am Himmel; m) bei einer kalten dunstvollen Nacht.

Die Beobachtungen des D. Schübler (Schweigger Journ. für Chemie und Physik, B. VIII. S. 21. III. 123. XI. 337. XIX. 1.) ergaben folgende Resultate:

1) Die atmosphärische El. steigt und fällt zweimal periodisch, selbst bei bewölktem Himmel (wie auch schon früher beobachtet worden ist). — 2) Die Zeit des Eintritts des Maximums und Minimums ist nach den verschiednen Jahrszeiten verschieden und richtet sich vorzüglich nach dem Auf- und Untergang der Sonne: der Eintritt des ersten Maximums ist am frühsten in den längsten Sommertagen, am spätesten in den kurzen Wintertagen; hingegen ist der Eintritt des zweiten Maximums am spätesten in den längsten Sommertagen, am frühesten aber in den kurzen Wintertagen: bei kalten nebligen Wintertagen scheinen daher die beiden Maxima wegen ihrer sehr kleinen Entfernung von einander, besonders bei Anwendung zu großer atmosphärischer Leiter, die gegen Feuchtigkeit schwer zu schützen sind, in Ein Maximum zusammenzufallen; was zu der irrigen Meinung Anlaß gegeben hat, als hätte die atmosphärische El. nur eine einfache Periode. — 3) Die Zeit des Eintritts des Maximums ist auch in derselben Jahrszeit sich nicht immer gleich. — 4) Die Stärke dieser elektrischen Perioden richtet sich vorzüglich nach der Heiterkeit des Himmels, so daß der Einfluß des Lichts auf ihre Bildung unverkennbar ist, wie denn auch die Ausdünstung und Feuchtigkeit wesentlich auf sie wirken. — 5) Das Verhältniß der Stärke der atmosphärischen El. während des Minimums zu der des Maximums und damit die eigentliche Größe der Veränderung ist in den Sommermonaten beinahe doppelt so groß, als in den Wintermonaten. Eben so ist dieses Verhältniß an heitern Tagen größer, als an trüben. — 6) Die jährliche Veränderung der Stärke der atmosphärischen El. in den untern Luftschichten steht mit der Temperatur der Luft in indirectem Verhältnisse. — 7) Die Stärke der El. der Nebel steht gewöhnlich in gleichem Verhältnisse mit der Stärke der El. der untern Luftschichten bei heiterm Himmel. — 8) Jedes fallende meteorische Wasser (Regen, Schnee, Graupeln, Schloßen), ist bald mehr, bald weniger elektrisch, und die Stärke der El. desselben ist gewöhnlich bedeutend größer, als die der ruhigen atmosphärischen Luft; es zeigt sich hier nicht mehr blos positive El., sondern diese wechselt auf die verschiedenste Weise mit der negativen. Bei diesem Wechsel der positiven und negativen El. zeigt sich auch eine Verschiedenheit in Rücksicht der Größe und Menge der

Wassertropfen. — 9) Die Stärke der El. des fallenden meteorischen Wassers hat eine jährliche Periode; am stärksten ist seine El. im Sommer, am schwächsten im Winter. — 10) Während 12 Monaten war das meteorische Wasser 71 mal positiv und 69 mal negativ; der Schnee zeigte sich gegen 24 mal positiv nur 6 mal negativ. Die Gestalt der Schneeflocken ändert sich mit der Gestalt der El. — 11) Sternschnuppen, Feuerkugeln, Steinregen und die stärksten Erderschütterungen dieses Jahrs (vom Jun. 1811 bis Mai 1812) ereigneten sich an den Tagen, an welchen die stärkste positive El. beobachtet wurde.

So wie das Uebereinstimmen der elektrischen Perioden mit dem, unter den Tropen regelmäßigen, täglichen Steigen und Fallen des Barometers unverkennbar ist (Schweigg. J. f. Ch. u. Ph. III. 126), so ist das Verhältniß dieser elektrischen Perioden zu den periodischen Abweichungen der Magnetnadel nicht weniger merkwürdig; auch diese geht nämlich täglich zweimal nach Osten und zweimal nach Westen, wobei sie im Allgemeinen folgendes Gesetz beobachtet: daß sie sich jedesmal nach der Weltgegend hinwendet, in welcher periodisch zunächst von uns die meiste El. angesammelt ist.

Das Elektrische des Thauprocesses scheint sich darin zu zeigen, daß Glas (Nichtleiter) und Metall (Leiter), zu gleicher Zeit der Bethauung ausgesetzt, jenes stark bethaut, während dieses trocken bleibt. (Anm. zu Singers El. von Müller.)

Außer dem Blitze verdanken noch mehrere Lichterscheinungen ihren Ursprung der atmosphärischen El. oder diese ist doch wenigstens dabei im Spiele. Hieher gehört z. B. das Wetterleuchten (fulguratio), eine Art Blitz, wobei man keinen Donner hört, auch keinen gedrungenen Feuerstral schießen sieht, sondern blos einen ausgebreiteten, wieder verschwindenden Schein bemerkt. Reimarus vergleicht das Wetterleuchten mit den Lichtstralen, welche aus Hervorragungen eines stark elektrisirten Körpers freiwillig hervorschießen. Wenn eine Wetterwolke mit El. überladen ist, so kann sie aus ihren Enden dergleichen Lichtstralen aussenden, welche nun zerstreut und ohne durchbrechende Gewalt in die Luft fahren. (Gehlers physik. Wört. Art. Wetterleuchten). Ferner gehört hieher das St. Elmsfeuer, schon von den Alten beobachtet, und von ihnen Castor et Pollux genannt. Es ist dies die Erscheinung eines rauschenden Lichtbüschels oder eines Lichtknöpfchens, die man bei, mit El. überladener, Luft an den vorragenden Spitzen und Ecken in der Luft erhabner, vorzüglich metallischer Gegenstände, doch auch an Menschen und Thieren und deren Bekleidungen bemerkt. Am häufigsten zeigt sich diese Erscheinung an den Spitzen

der Mastbäume bei Stürmen und an Thurmspitzen. Sie rührt vom Aus- oder Einströmen der atmosphärischen El. durch Spitzen her.

Viel Wahrscheinlichkeit ist vorhanden, daß auch die Sternschnuppen ein elektrisches Licht sind, obwohl man sie häufig von Entzündung brennbarer Stoffe in der Atmosphäre ableiten will.

Das Nordlicht scheint zwar in noch näherer Beziehung zum Magnetismus als zur El. zu stehen (daher auch Biot beim Magnetismus erst näher davon handelt); doch dürfte sich beides nach den neuern Entdeckungen über den Wechselbezug der El. und des Magnetismus wohl vereinigt denken lassen. — Die Gründe, welche darauf deuten, daß beim Nordlicht El. im Spiele ist, sind nach Thienemanns neuesten Beobachtungen in Island folgende: a) das Nordlicht tritt an die Stelle der Gewitter und wird da am stärksten sichtbar, wo die Gewitter ganz aufhören, in der Nähe und innerhalb der arktischen Zone. Spätere Beobachtungen müssen beweisen, daß in den Jahren, wo auch in unsern Gegenden sich starke Nordlichter zeigen, wenig Gewitter Statt gefunden haben. b) Steht das Nordlicht dem Beobachtenden nahe genug, und ist es stark, so hört er ein knisterndes Geräusch, und empfindet einen stechenden Geruch, welcher dem gleicht, den andre starke elektrische Explosionen hervorbringen. c) Die Farbe des Nordlichts kommt ganz mit der überein, welche andre elektrische Erscheinungen (namentlich im luftleeren Raume) haben; sie ist gewöhnlich ein sanftes Gelb, dessen Stralen aber häufig in den tieferstehenden Dünsten sich brechen, und dann regenbogenfarbig, hochroth u. s. w. erscheinen.

Einen directen Beweis scheinen Hoods Beobachtungen abzugeben; Gilb. Annal. 1823. H. 5.

Auch Erdbeben, Wasserhosen und selbst Vulkane sind der elektrischen Wirksamkeit zugeschrieben worden. Doch mag sie hiebei mehr mitwirkend, und zum Theil ihre Erregung auch mehr Folge als Ursach jener Erscheinungen seyn. Man führt einen Versuch an, zum Beweise, daß El. die Ausbrüche der Vulkane beschleunigen könne: ein Gemisch von Schwefel und Eisenfeile unter der Erde nämlich explodirt, wenn es elektrisch wird, fast augenblicklich, sonst erst in acht bis neun Stunden. — Die Blitze, welche bei Eruptionen von Vulkanen die Rauchsäule über dem Crater durchkreuzen, zeugen auch von dabei Statt findender El.

Dreizehntes Capitel.

Vom elektrischen Lichte.

Das Licht, welches bei elektrischen Entladungsschlägen zum Vorschein kommt, hat lange in den Augen der Physiker für eine Modification des elektrischen Princips selbst gegolten; indem man annahm, dasselbe könne bei einem gewissen Grade der Anhäufung leuchtend werden. Indeß hat mich die Beobachtung des Lichts, welches sich aus der Luft bei mechanischer Zusammendrückung derselben entwickelt, auf den Gedanken geführt, daß das elektrische Licht wohl eine ähnliche Ursach haben, und blos Wirkung der, durch den elektrischen Entladungsschlag bewirkten, Compression der Luft seyn könne [1] *). In der That wird dies durch eine gründliche Analyse der Versuche sehr wahrscheinlich, wie man im größern Werke nachlesen kann. Je nachdem die, vom elektrischen Schlag durchsetzte, Luft mehr oder minder dicht ist, oder je nachdem der Entladungsschlag, den man hindurch läßt, stärker oder schwächer ist, entstehen verschiedne Lichtnüancen vom sanftesten Violet bis zum glänzendsten Weiß **). Diesen Erfolg erhält man in der, durch unsere Luftpumpen bewirkten, Leere und selbst in der Leere unsrer Barometerröhren. Was ist aber eine solche Leere anders, als ein Raum, worin sich Wasser- oder Queckſilberdämpfe befinden, welche

---

1) Annales de Chimie, tome 53. page 321. 1805.

*) Warum hätte Biot nicht auch auf den umgekehrten Gedanken fallen können, daß das, bei der Compression der Luft entstehende, Licht von dabei erregter El. herrühre, zumal da durch Druck solche wirklich erregt zu werden vermag? — Ein triftiger Grund gegen Biots Meinung ist, daß gar kein ununterbrochener Funkenstrom Statt finden könnte, wenn das Licht nur aus der Luft ausgepreßt würde, weil nach dem ersten Durchbruch der Luft der Weg durch die vorausgehende El. für die nachfolgende offen erhalten wird.

**) In verdichteter Luft ist das Licht weiß und glänzend, in verdünnter erscheint es zertheilt und schwach leuchtend, und in höchst verdünnter Luft von mattrother oder Purpur-Farbe. Die Wirkung der verschiedenen Gasarten scheint sich nach ihren Dichtigkeiten zu richten; in kohlensaurem Gas ist der Funke weiß und lebhaft, im Wasserstoffgas ist er roth und schwach. — Funken, die man durch Kugeln von Holz oder Elfenbein auszieht, haben eine carmoisinrothe Farbe; die von der Oberfläche von versilbertem Leder sind glänzend grün; ein langer, über Kohlenpulver fahrender, Funken ist gelb, und die von unvollkommenen Leitern haben einen purpurfarbenen Anstrich. Auch hat die Quantität Luft, durch die man diese Funken betrachtet, auf ihr Aussehen Einfluß, denn der grüne Funke in dem Aetherdunst erscheint weiß, wenn man das Auge dicht an die Glasröhre hält, und betrachtet man ihn aus einer beträchtlichen Entfernung, so scheint er röthlich zu seyn. — Durch ein Prisma betrachtet, bietet der elektrische Funke alle prismatische Farben dar. (Singer El.)

bei hinlänglicher Zusammendrückung gleich andern elastischen Flüssigkeiten Wärme zu entwickeln vermögen *).

Noch hat man zwei andre Wirkungen, die sich bei der Entwicklung der El. zeigen, zu ihren physischen Charakteren rechnen wollen; einmal nämlich die eigenthümliche Empfindung, die man bei Annäherung eines elektrisirten Körpers an die bloße Haut erhält, als würde sie in Spinnengewebe getaucht, zweitens, den sehr auffallenden Phosphorgeruch, den die elektrisirten Spitzen, wenn sie an das Geruchsorgan gebracht werden, hervorbringen. Nun lehren aber die Schläge, welche die Leydner Flasche und die elektrischen Batterieen ertheilen, daß die El. bei ihrer Bewegung die Organe heftig zu erschüttern und sehr starke Muskelbewegungen darin hervorzurufen vermag, wofür wir weiterhin noch mehr Belege erhalten werden. Wenn jetzt ein elektrisirter Leiter irgend einem Theile unsers Körpers genähert wird, so er-

---

*) Zusätze. Merkwürdig ist auch die Wirksamkeit der El. in Hervorbringung phosphorescirender Erscheinungen in verschiednen Körpern, wenn sie leuchtend über ihre Oberfläche geht.

Man lege ein Stück trockne Kreide auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers und bringe dessen Stäbe auf seine Oberfläche, so daß ihre Enden zwei Zoll von einander abstehen. Man lasse nun einen starken Schlag von einem Stabe zum andern gehen, und nach der Explosion zeigt sich längs seinem Wege ein Lichtstreifen mit prismatischen Farben auf der Kreide, der einige Secunden hindurch anhält.

Gleiche Wirkungen werden in verschiednen andern Körpern durch das Ueberschlagen der Ladung über ihre Oberfläche hervorgebracht, aber die Farbe und Dauer des Lichts weichen beträchtlich von einander ab; und läßt man die Ladung durch die Substanz einiger derselben gehen, so werden sie in leuchtende Partikelchen zertheilt, die eine beträchtliche Zeit hindurch ihr Licht behalten. Auf diese Weise werden z. B. zum Phosphoresciren mit grünem Lichte, in verschiedenen Nüancen, gebracht die natürliche Schwefelsäure und der kohlensaure Baryt, das trockne essigsaure Kali, die Bernsteinsäure, der Hutzucker, der Selenit, der Borax, die Boraxsäure.

Gleich merkwürdig ist auch die Wirkung einer elektrischen Entladung auf verschiedne undurchsichtige Körper.

In die Rinne eines Stücks glatten Mahagoniholzes werden zwei Drähte so eingepaßt, daß sie vor- oder rückwärts geschoben, und ihre Enden in jede beliebige Entfernung von einander gestellt werden können. Stehen sie ungefähr einen halben Zoll von einander ab, und hält man einen Finger über ihren Zwischenraum, so wird er, während ein Schlag von Draht zu Draht unter ihm wegfährt, vollkommen durchscheinend erscheinen, ohne daß man eine unangenehme Empfindung fühlt. — Man stelle die Enden der Drähte drei Viertelzoll weit von einander und lege über den Zwischenraum ein dickes Stück Pfeifenthon oder Bimsstein: während die Ladung übergeht, werden diese undurchsichtigen Substanzen vollkommen durchscheinend. — Man stelle fünf oder sechs Eier in gerade Linie und so, daß sie sich berühren; ein kleiner Schlag, den man durch sie gehen läßt, macht sie vollkommen durchleuchtend.

Ueberhaupt wird jede Substanz, die nicht ein guter Leiter ist, beim Durchgange der Ladung mehr oder weniger leuchtend.

Alle diese Versuche müssen im Dunkeln angestellt werden.

folgt in demselben eine Zersetzung unsrer natürlichen Elektricitäten, und die, welche der des Leiters entgegengesetzt ist, verdichtet sich an dem, ihm zunächst befindlichen, Ende. Diese innere Bewegung, das Ausströmen dieser El., oder die Einführung der von außen kommenden, sollten sie nicht in uns eine Empfindung zu erregen vermögend seyn? ja sollte nicht der bloße Zutritt der Luft, die sich an den Theilen unsrer Haut, wo die El. frei hervorgetreten ist, beständig erneuert und elektrisirt, auch eine Art Schauer (frêmissement) darin hervorrufen? Ist dem aber so, so ist kein Grund vorhanden, warum wir uns noch nach besondern Ursachen dieser Wirkungen umsehen sollten; und keine Wahrscheinlichkeit nöthigt uns, darin physische, an das Wesen der El. selbst geknüpfte, Eigenschaften zu suchen.

Durch Abänderung des Ganges und der Funkenbewegungen des elektrischen Lichtes lassen sich mehrere interessante physikalische Spielwerke hervorbringen, die man in meinem größern Werke beschrieben findet. Hier begnüge ich mich, zwei hieher gehörige Erscheinungen anzuführen, welche für eine physische Verschiedenheit beider Elektricitäten zu sprechen scheinen.

Man versieht den ersten Conductor der Electrisirmaschine oder einen der, damit in Verbindung gesetzten, secundären Conductoren, mit einer Metallspitze, welche in die umgebende Luft hineinragt. Darauf ordnet man die Reibzeuge successiv so an, daß diese Conductoren einmal mit positiver, das andremal mit negativer El. geladen werden. Wird der Versuch im Dunkeln angestellt, so bemerkt man im ersten Fall am Ende der Spitze einen Feuerbüschel, begleitet von einem sehr merklichen Geräusch; im zweiten Fall sieht man nur einen Lichtpunct ohne alles Rauschen.

Man hänge an einem Seidenfaden eine Spielkarte auf, und bringe ihre beiden Flächen mit zwei Metallspitzen in Berührung, die einander parallel gerichtet, aber an ihren Berührungspuncten sich nicht entgegengesetzt sind, Fig. 47. Man setze die eine dieser Spitzen mit der äußern Fläche einer starken Leydner Flasche, welche man in der Hand hält, in Verbindung, und berühre die andre mit dem Knopfe des hakenförmig gekrümmten Stabes der innern Belegung. Der Entladungsschlag geht von einer Spitze zur andern durch die Karte hinüber. Nun beobachtet man, daß die Stelle, wo sie durchbohrt ist, genau vor der, mit der negativen Belegung der Flasche in Verbindung stehenden, Spitze befindlich ist: und, wenn der Versuch im Dunkeln angestellt wird, so sieht man im Augenblick der Entladung einen Feuerstral über die Oberfläche der Karte, welche den positiven Leiter berührt, hinwegfahren; während die Oberfläche, die den negativen Leiter berührt, dunkel bleibt. Man kann selbst die Spuren dieses Ganges bleibend sichtbar

machen, indem man beide Flächen der Karte mit Zinnober bemalt, der sich blos auf einer derselben verändert findet.

Diese Erscheinung, so wie die vorige, finden sehr wohl ihre Erklärung durch die Annahme, daß die Luft der positiven El. weit leichter den Durchgang verstattet, als der negativen. Hienach kann eine, mit positiver El. geladene, Spitze dieselbe rings um sich ausströmen; während, wenn sie mit negativer El. geladen ist, die Entladung durch die successive Berührung der Lufttheilchen geschehen muß, welche zum äußersten Punct der Spitze hinzutreten, um die El. zu rauben. Das Licht wird sich also nur an dieser Spitze selbst zeigen. Eben so kann bei dem Versuch mit der Karte blos die El. der positiven Spitze in die Luft ausgeströmt werden, um der negativen El. der andern Spitze zu begegnen; welches sie auf dem Wege des geringsten Widerstands vollbringt, indem sie erst auf der Oberfläche der Karte hingleitet, und sie nur in dem Augenblick durchbricht, wo ihre Anziehungskraft durch die Nähe an der andern Spitze am höchsten gesteigert ist. Tremery, welcher zuerst auf diese Erklärungsart verfallen ist, suchte den Einfluß der, die El. zurückhaltenden, Kraft dadurch zu schwächen, daß er die Dichtigkeit der dazwischen befindlichen Luft verminderte; indem er die nämlichen Versuche unter der Glocke einer Luftpumpe wiederholte. Er fand hiebei, daß sich das Loch in der durchbohrten Karte der Mitte des Zwischenraums zwischen beiden Spitzen in dem Maße nähert, als die umgebende Luft dünner und mithin geringern Widerstands fähig ist. Dies Resultat scheint der Annahme, daß beide Elektricitäten mit ungleicher Kraft von der Luft zurückgehalten werden, günstig zu seyn; und später anzuführende Erscheinungen sprechen dafür, daß eine solche Ungleichheit auch in Bezug auf andre Körper, als die Luft, Statt habe. Hier wird dieselbe jedoch nur bei el. Ladungen von ausnehmend schwacher Repulsivkraft bemerklich, und es ist sehr schwer, sich zu erklären, wie sie in der Luft, selbst für die stärksten Ladungen, Statt finden kann, während alle übrigen Erscheinungen anzudeuten scheinen, daß der, von der Luft geleistete, Widerstand, einzig von ihrem Druck herrührt *). Es würde daher gerathen seyn, diese Versuche noch einmal unter andern Umständen vorzunehmen, z. B. in verschiednen Mitteln, um zu sehn, ob es möglich wäre, diesen anscheinenden Widerspruch zu heben.

---

*) In der That wird dadurch diese Annahme höchst unwahrscheinlich gemacht, denn dieselbe würde zugleich eine andre Stärke der el. Repulsivkraft oder Expansivkraft in der positiven, als in der negativen El. voraussetzen; was sich mit der ganzen übrigen Theorie nicht vereinigen ließe.

Vierzehntes Capitel.

Von den verschiedenen Erregungsarten der Elektricität.

Zum Studium der verschiednen Eigenschaften der elektrischen Principe und Feststellung ihrer Charaktere reichte es schon hin, wenn wir nur Ein sichres und leichtes Mittel, sie zu erregen, kannten. Die Reibung vereinigte diese Vortheile, und da ihre Wirksamkeit sich überdies ins Unbestimmte verstärken ließ, so ließ ich es zu Anfange dieses Buchs bei dieser Erregungsart bewenden, ohne bisher von einem andern Verfahren Gebrauch zu machen. Jetzt indeß wird es erforderlich, auch die andern Modificationen der Körper kennen zu lernen, welche eine Trennung ihrer natürlichen Elektricitäten bewirken können; denn in dieser Art von Erfahrungen ist vielleicht der einzige Weg zu finden, der uns zu der Einsicht führen kann, in welchem Bezuge die beiden elektrischen Prinzipe zu der Grundbeschaffenheit der Körper stehen.

Was zuvörderst die Reibung betrifft, so habe ich schon erwähnt, daß, selbst dem Anschein nach ganz unbedeutende, Umstände den Ausschlag geben können, welcher von beiden aneinander geriebenen Körpern die eine oder die andre El. annimmt: reibt man z. B. zwei seidne Bänder AB, A'B', Fig. 48, die man durch Entzweischneiden des nämlichen Stücks erhalten hat, kreuzweis über einander, so daß eins von ihnen, AB, successiv in seiner ganzen Länge reibt, während A'B' blos in C gerieben wird, so nimmt erstres stets die positive, letztres die negative El. an. In diesem Fall giebt blos die Art des Reibens den Ausschlag. Aber auch die mehr oder minder erhöhte Temperatur jedes von beiden Körpern hat einen bedeutenden Einfluß auf die Art der El., mit der sie sich laden, wie meines Wissens Bergmann zuerst gezeigt hat. Wenn z. B. bei vorigem Versuch das Band AB, welches successiv mit seiner ganzen Länge reibt, vorher stark erhitzt wird und die Reibung nur so kurze Zeit dauert, daß sich der Temperaturunterschied zwischen ihm und dem Bande A'B' in beträchtlichem Grade erhält; so wird dieser Umstand den Einfluß der Reibungsart überwiegen: und AB wird negativ elektrisch werden, während A'B' positive El. annimmt. Nach dem Erkalten des Bandes AB oder nach erfolgter Mittheilung der Temperatur zwischen beiden Bändern, werden die erstbeschriebenen Verhältnisse wieder eintreten, und im Uebergange von einem dieser Zustände zum andern wird ein Indifferenzzustand (ein Zustand, wo kein Band El. zu erkennen giebt), Statt finden. Um Versuchen dieser Art alle erforderliche Feinheit zu geben, und dem Wechsel des elektrischen Zustandes gehörig folgen zu können, muß man nach jeder

Operation die geriebenen Körper schnell einem recht empfindlichen Goldblattelektroskop darbieten, von dem man blos den Knopf mit dem zu prüfenden Körper berührt. Auch läßt sich mit Vortheil das Coulombsche Elektroskop mit dem Coconfaden anwenden. Ich habe in meinem größern Werke eine Reihe interessanter Versuche angeführt, die Coulomb mit demselben in Bezug auf diesen Gegenstand anstellte. Er glaubt, dadurch auf ein allgemeines Gesetz geführt worden zu seyn, welches, obwohl in etwas unbestimmten Ausdrücken gegeben, doch mit einer zu großen Menge von Thatsachen in Uebereinstimmung ist, um nicht im Kern eine allgemeine Wahrheit zu enthalten. Dies Gesetz ist folgendes: Wenn die Oberflächen zweier Körper an einander gerieben werden, so scheint diejenige, deren Massentheilchen am wenigsten aus einander weichen, und die kleinsten Excursionen um die natürlichen Lagen ihres Gleichgewichts machen, hiedurch zur Annahme der positiven El. disponirt zu werden. Diese Neigung wird durch einen vorübergehenden Druck verstärkt. Umgekehrt diejenige beider Oberflächen, deren Theilchen durch die Rauhheit der andern oder sonst eine Ursach am meisten von einander entfernt werden, wird hiedurch zur Annahme der negativen El. disponirt. Diese Neigung nimmt zu, wenn die Oberfläche eine wahre Ausdehnung erfährt. Die Wärme scheint, indem sie die Theilchen der Körper von einander entfernt, auf letztere Weise zu wirken und disponirt zur negativen El. Wohl zu bemerken ist, daß diese, von Coulomb angegebenen, Bedingungen nicht von ihm als absolut wirkend erklärt werden, sondern blos als relativ: d. h. sie disponiren die Körper blos zu dem einen oder dem andern elektrischen Zustand, nöthigen sie aber nicht durchaus dazu; denn ohne Zweifel hat auch die eigenthümliche Beschaffenheit der aneinander geriebenen Körper selbst auf die Erscheinung Einfluß; hierüber jedoch hat Coulomb keine Rechenschaft zu geben vermocht.

Sehr wohl werden diese Ansichten Coulombs durch einen, erst weit später angestellten, Versuch von Libes bestätigt. Es ist folgender: Man fasse eine Metallscheibe an einem gläsernen Handgriff an und drücke sie auf Wachstaffet, einfachen oder mehrfach zusammengelegten. Der Ueberzug, womit dieser Taffet bedeckt ist, ist der Zusammendrückung fähig und haftet auf diese Weise an den Körpern, indem sich seine Oberfläche nach deren Rauhigkeiten gleichsam abformt. Es ist also zufolge Coulomb's Gesetz die Bedingung vorhanden, welche das Hervortreten der positiven El. in ihm befördert. Auch findet man nach Hinwegnahme der Scheibe, daß er diese El. wirklich besitzt, während die Scheibe den entsprechenden Ueberschuß negativer El. hat. Je stärker der Druck ist, um so hervorstechender ist diese Wirkung. Sie verschwindet, wenn der Taffet die Klebrigkeit verloren hat, ver-

möge deren seine Oberfläche so leicht zusammendrückbar ist. Die Reibung hat keinen Theil an der Hervorbringung dieser Erscheinung; denn wenn man, anstatt die Scheibe auf den Taffet zu drücken, sie leicht auf seiner Oberfläche hinbewegt, um sie zu reiben, so wird die Scheibe positiv, der Taffet negativ elektrisch, dagegen der Druck den umgekehrten Erfolg hatte.

Die interessante Bemerkung, welche Libes gemacht hatte, ist von Hauy auf mehrere Mineralkörper ausgedehnt worden, wobei die besondre Eigenthümlichkeit Statt findet, daß einige derselben durch den schwächsten Druck in elektrischen Zustand versetzt werden und ihn dann hartnäckig beibehalten. Der rhomboidale Kalkspath z. B., gewöhnlich Isländischer Spath genannt, wird schon elektrisch, wenn man ihn nur einen Augenblick zwischen trocknen Fingern drückt; er zeigt dann sehr merkliche positive El., die er sehr fest hält; denn er entäußert sich derselben weder, wenn man ihn mit einem, mit dem Boden in Verbindung stehenden, Leiter berührt, noch selbst, wenn man ihn ins Wasser taucht. Andre Mineralkörper zeigen diese Eigenschaft in minderm Grade, andre endlich scheinen derselben gänzlich beraubt. Becquerel indeß hat gezeigt, daß diese Ausnahme nur scheinbar sey, und blos daher rühre, daß die in Rede stehenden Körper die erlangte El. nicht so gut wie andre festzuhalten vermögen; so daß man, um sie bemerklich zu machen, die Körper während der Berührung isoliren muß. Zu diesem Zweck befestigt er die zu prüfende Substanz an das eine Ende eines Glasstäbchens, dessen anderes Ende mit einem Handgriff von trocknem Holz versehen ist, damit man es in der Hand halten könne, ohne es durch Reibung zu elektrisiren; er läßt nun diesen kleinen Apparat einige Zeit unberührt, bietet ihn dann, um sich zu überzeugen, daß er nicht elektrisch sey, dem, mit einer bekannten El. geladnen, Scheibchen des Coulombschen Elektroskops dar, und drückt dann das Mineral, wenn er sicher ist, daß es sich in natürlichem Zustande befindet, mit dem Finger oder auf einen beliebigen festen, isolirten oder nicht isolirten, Körper. Auf solche Weise hat er gefunden, daß nicht allein die Mineralien, sondern überhaupt alle Körper jedweder Beschaffenheit, wenn sie isolirt und aneinander gedrückt werden, nach dem Druck in entgegengesetzt elektrischen Zuständen hervortreten, der eine mit einem Ueberschuß positiver, der andre mit dem entsprechenden Ueberschuß negativer El. Wenn blos einer von beiden Körpern isolirt ist, so behält blos dieser die El., die er durch den Druck erlangt hat; der andre verliert sie an den Boden, wofern er nicht aus einem isolirenden Stoff besteht oder ein so unvollkommenes Leitungsvermögen besitzt, daß die El. der Oberfläche durch die Zersetzung der natürlichen Elektricitäten der innern

Schichten gebunden zu werden vermag. Der Isländische Spath scheint sich in diesem Fall zu befinden. Die absolute Intensität der erregten El. verhält sich verschieden für verschiedene Substanzen, und ist bei einigen so schwach, daß sie sich nur durch besondre Vorsicht bemerkbar machen läßt. Die wesentlichste Maßregel hiezu ist, den zu prüfenden Körpern die Gestalt kleiner Scheiben von einigen Millimetern im Durchmesser zu geben. Auch verstärkt man ihre elektrische Eigenschaft bedeutend durch Erhitzung. Einige Substanzen, wie der Zündschwamm und das Hollundermark, zeigen sogar nicht eher recht merkbare Resultate, bevor man sie nicht dieser Maßregel unterwirft.

Man wird im folgenden Capitel sehen, daß, einer sehr schönen Entdeckung Volta's zufolge, alle Körper, wenn sie in Berührung mit einander gebracht werden, nach der Berührung in verschiedenen elektrischen Zuständen wieder hervortreten; die, von Becquerel entdeckten, Erfolge scheinen jedoch wegen ihrer Intensität und mehrerer andern begleitenden Eigenthümlichkeiten mit jenen nicht dieselbe Classe von Erscheinungen auszumachen. Wenn man z. B. eine isolirte Korkscheibe auf die flache Hand, lebendige Haare auf einen hölzernen Tisch oder eine Orangenschale legt, so wird ein zwei = oder dreimal hinter einander wiederholter Druck, manchmal schon ein einmaliger, hinreichen, diese Substanzen so elektrisch zu machen, daß sie, wenn sie weggenommen und mit dem Knopf eines Goldblattelektroskops in Berührung gebracht werden, ein bedeutende Divergenz an demselben hervorbringen; dagegen man dem Elektroskop durch einen Condensator zu Hülfe kommen muß, wenn die, durch bloße Berührung der nämlichen Substanzen unter denselben Umständen erregte, El. bemerklich werden soll. Ferner begünstigt die Leichtigkeit, mit der Substanzen sich zusammendrücken lassen und wieder zu ihren vorigen Dimensionen zurückkehren, gar sehr die Elektricitätserregung durch Druck. So wird ein starker Grad derselben entwickelt, wenn man eine isolirte Korkscheibe auf einen Haufen übereinandergeschichteter Brochüren drückt. Die unvollkommenen Flüssigkeiten, welche sich zusammendrücken lassen, und dann wieder ihre vorigen Dimensionen annehmen, eignen sich gleichfalls zur Hervorbringung dieser Erscheinungen; wie sich nachweisen läßt, indem man die isolirte Korkscheibe auf Terpentinöl drückt, das im Feuer verdickt worden, so daß es eine Art halbflüssigen Firnisses bildet. Becquerel hat auch bei diesen Versuchen, wie Libes bei den seinigen, beobachtet, daß die Elektricitätserregung durch Druck um so stärker wird, je inniger die Substanzen beim Druck an einander haften, und je mehr Kraft sie erfordern, von einander losgerissen zu werden. Ueberhaupt fand er, daß diese Erregungsart durch eine sehr große Zahl besondrer Umstände modificirt wird, wie

die Glätte der Oberflächen, ihre mehr oder minder frische Trennung, die größere oder geringere Feuchtigkeit der umgebenden Luft.

Dessaignes hat schon vor längerer Zeit auf eine Erscheinung aufmerksam gemacht, welche mit der vorigen in naher Beziehung zu stehen scheint. Wenn man nämlich eine Glas- oder Siegellackstange in Queckſilber taucht, so wird sie gewöhnlich in elektrischem Zustande wieder herausgezogen, mag sie übrigens ganz eingetaucht, oder blos auf die Oberfläche dieser Flüssigkeit gelegt, oder auch stark gegen ihre Oberfläche gestoßen worden seyn. Das einfachste Mittel, diese Erscheinung bestätigt zu finden, ist, die Stange nach ihrem Herausziehen aus dem Queckſilber dem, zuvor mit einer bekannten El. geladenen, Scheibchen des Coulombschen Elektroskops darzubieten. Vorzüglich auffallend zeigt sich der Erfolg bei Gummilack; die El. wird durch ein einmaliges Eintauchen so stark darin erregt, daß man sich dieses Mittels weit bequemer, als der Reibung, zu seiner Elektrisirung bedienen kann.

Dessaignes bemerkte in der Art und Intensität der El., welche die Stange durch das Eintauchen annahm, Abweichungen, die ihm vom Zustande der Feuchtigkeit, der Temperatur und des Drucks der Luft herzurühren schienen. Wenn das Elektroskop, dessen er sich bediente, hinlänglich empfindlich war, um diese Abweichungen als zuverlässig ansehen zu können, so ließen sich dieselben mit einiger Wahrscheinlichkeit blos auf Rechnung des hygrometrischen Zustandes der Stangen an der Oberfläche schreiben, der je nach seinem Verhältniß zu dem hygrometrischen Zustande der umgebenden Atmosphäre, ein Aushauchen oder Verdichten der Dünste an ihnen bewirken konnte; auch haben Volta, und nach ihm mehrere andre Physiker versichert, daß die Wasserdünste bei ihrer Bildung positive El. absorbiren.

Die schnelle Trennung der Körpertheilchen zeigt sich, im Dunkeln beobachtet, oft mit einer mehr oder minder dauernden Lichtentwicklung vergesellschaftet. Diese Erscheinung wird z. B. beim Zerschlagen des Zuckers, selbst wenn es unter Wasser geschieht, beobachtet. Sie entsteht und verschwindet hier mit dem Schlage, der sie hervorruft. Dauerhafter ist die Phosphorescenz an der Kreide, wenn sie mit einem Hammer zerschlagen wird. Sollte nicht eine solche Lichtentwicklung, wenn sie plötzlich geschieht, das Zeichen einer Zersetzung der natürlichen Elektricitäten seyn? Wenn man z. B. im Dunkeln die Blätter von sibirischem Glimmer, deren Enden zuvor an Isolirstäbe befestigt sind, schnell von einander bricht, so sieht man an den Bruchflächen einen lebhaft bläulichen Blitz zum Vorschein kommen. Bietet man nun diese Flächen nach geschehenem Bruch dem Elektroskop dar, so findet man, Becquerel's Beobachtung zufolge, daß die eine positiv,

die andre negativ elektrisirt ist. Warum sollte sich das Nämliche nicht auch bei andern Fällen schneller Trennung ereignen? Elektricitätsmengen, die zu schwach sind, um für unsre besten Elektroskope noch bemerkbar zu seyn, vermögen vielleicht bei ihrem Freiwerden noch ein, für die Augen bemerkbares, Licht zu entwickeln *).

Aus der Darstellung dieser Versuche ergiebt sich zur Genüge, daß man über die Erregung der el. Principe noch sehr im Dunkeln ist; zugleich wird man aber auch anerkennen, daß eine Untersuchung dieses Vorgangs sich dem Physiker als einer der interessantesten Gegenstände für seine Forschungen darbietet.

Funfzehntes Capitel.

Von Erregung der Elektricität durch bloße Berührung.

Wir wenden uns jetzt zur Betrachtung der Elektricitätserregung durch bloße Berührung. Dieser Theil der Physik, der erst seit dreißig Jahren geschaffen ist, wird uns im Contrast eine große Entdeckung, durch den Zufall veranlaßt, und eine noch größere, durch die strengsten Versuche und Schlußfolgen unmittelbar gefunden und bis zum Grade ihrer Vollendung gebracht, zeigen.

Die ersten Beobachtungen dieser Art fallen um das Jahr 1789. Galvani, Professor der Physik in Bologna, stellte Untersuchungen über die Erregbarkeit der Muskeln durch El. an. Er nahm hiezu Frösche, tödtete sie, zog ihnen die Haut ab, und schnitt ihre Wirbelsäule durch, um die Schenkelnerven zu isoliren und bloß zu legen, wie Fig. 48 bis darstellt. Um leichter mit ihnen umgehen zu können, steckte er noch überdies durch den übrig gebliebenen Theil E der Wirbelsäule einen

---

*) Zusatz. Oersted hat auf eine entgegengesetzte Elektrisirung der schwingenden und der ruhenden Stellen der Scheiben bei Klangfiguren aufmerksam gemacht (Gehlers Journ. VIII), welche, Kastner's Beobachtungen zufolge, zur Zersetzung des blausauern Ammoniaks hinzureichen schien. (Kastners Einleit. in d. neue Chemie S. 105). — Ich führe dies deshalb besonders an, weil, wenn sich diese Erfahrungen bestätigen, — und der Bestätigung bedürfen sie allerdings noch — hierin sich ein Weg zeigt, wie sich die Gehörempfindung von dem Gehörorgan, in dem durch Mittheilung der Luft ebenfalls Klangfiguren entstehen, durch den Nerven zum Gehirn fortpflanzen kann, ein Vorgang, der sich sonst schwer begreifen ließe. Die Fortleitung kann, da Nerven keine elastischen, gespannten Saiten sind, nicht durch Erschütterung geschehen; und überhaupt scheinen viele neue Versuche zu dem Resultate zusammenzustimmen, daß der Fortleitung in den Nerven das Imponderable der El. zu Grunde liege; das Nervensystem nur ein Circulations- und Erregungsapparat für dasselbe sey.

hakenförmig gekrümmten Kupferdrahr. Der Zufall wollte, daß er eines Tages mehrere Froschleichname mittelst dieser Kupferhaken am eisernen Geländer einer Terrasse aufhieng; im Augenblick geriethen ihre Füße und Schenkel, welche auch zum Theil auf dem Eisen lagen, in freiwillige Zuckung; ein Erfolg, der sich bei jeder erneuerten Berührung mit dem Eisen wiederholte. Galvani faßte die Wichtigkeit dieser Erscheinung wohl auf, und suchte sie nach ihren wesentlichen Umständen zu bestimmen. Er fand zuvörderst, daß, wenn man, anstatt den Frosch in der Hand zu halten, ihn auf eine Eisenplatte legte, und mit dieser den Kupferhaken in Berührung brachte, die Zuckungen auch noch eintraten. Er erkannte dann, daß Alles darauf ankam, zwischen den Muskeln und den Nerven des Frosches eine leitende Verbindung durch einen metallnen Bogen zu bewerkstelligen; daß die Zuckungen noch erfolgten, wenn dieser Bogen aus einem einzigen Metall bestand, dann aber nur sehr selten und schwach waren, und daß, um sie stark und dauerhaft hervorzubringen, die Anwendung zweier verschiednen, in Berührung mit einander befindlichen, Metalle erforderlich sey. War nun diese Bedingung erfüllt, so konnte man dann den Verbindungskreis vollends durch andre beliebige Substanzen schließen, wofern sie nur die El. leiteten. Er brachte in die Schließungskette andre thierische Theile und selbst lebende Personen, die sich an der Hand hielten; die Zuckungen traten dessenungeachtet ein. Nun hatte Galvani kurz vorher die Bemerkung gemacht, daß die, durch die gewöhnlichen Verfahrungsarten erregte, El. ähnliche Wirkungen auf die, ihrem Einfluß ausgesetzten, Organe von Fröschen äußerte. Man hätte glauben sollen, daß diese deutliche Analogie ihn auf den Gedanken führen mußte, daß die, durch die Berührung heterogener Substanzen hervorgerufenen, Zuckungen ebenfalls Wirkung eines, durch diese Berührung erregten, el. Stroms seyen. Jedoch verfiel er nicht auf diese so einfache Folgerung, glaubte vielmehr in jenen Erscheinungen die außerordentliche Wirkung einer neuen Quelle von El. zu erblicken, welche er thierische El. nannte; einer El., welche ursprünglich in Muskeln und Nerven vorhanden wäre, und wenn man diese Theile durch einen Metallbogen oder überhaupt gute Leiter der El. in Verbindung setzte, von einem zum andern kreiste. Galvani suchte auf unbestimmte Weise diese Wirkungsart auf die der Leydner Flasche zurückzuführen; indeß ergiebt sich leicht aus dem Werke selbst, worin er diese Hypothese vortrug, und welches betitelt ist; De viribus electricitatis in motu musculari Commentarius, daß er keine Einsicht in die wahre Theorie der el. Vertheilung hatte; und wenn man hiedurch erklärlich findet, wie er sich zu theoretischen Ansichten verleiten lassen konnte, die aller Bestimmtheit und Schärfe ermangelten, so

muß man um so mehr den seltnen Scharfsinn und das unleugbare Genie bewundern, mit welchem er, gleichsam ahnend, die außergewöhnliche Erscheinung der, dem Anschein nach, von freien Stücken entstandnen Zuckungen, die er durch Zufall beobachtete, auffaßte, und abändernden Versuchen unterwarf.

Als diese neuen Erscheinungen in Italien bekannt wurden, erregten sie allgemeines Aufsehn daselbst, und Galvani's Ansichten fanden überall Eingang. Volta jedoch hatte nicht sobald jene Versuche wiederholt, als er ganz andre Andeutungen in ihnen erkannte; und man kann sagen, daß der Zufall selbst, indem er die Entdeckung dieser neuen Thatsachen auf die der Wirkungen der künstlichen el. Vertheilung folgen ließ, so zu sagen Sorge getragen hatte, durch diese Näherung auf die wahre Quelle derselben aufmerksam zu machen. Auch war Volta über ihr Wesen sogleich mit sich einig; da er jedoch einsah, daß die erregende Ursach dieser Bewegungen, welcher Art sie immer seyn mochte, sehr subtil seyn mußte, weil sie sich selbst ohne den Willen des Beobachters erzeugt hatte, so gieng er zuerst daran, durch genaue Versuche auszumitteln, wie viel El. gerade nöthig sey, Zuckungen in den Froschorganen bei der Entladung durch dieselben zu bewirken. Er fand, daß diese Quantität ausnehmend schwach war, so daß sie kaum hinreichte, eine merkliche Divergenz an dem empfindlichen Strohhalmelektroskop, dessen er sich bediente, hervorzubringen. Nachdem diese Thatsache festgestellt war, setzte er sie in Beziehung mit jener andern, durch Galvani's Versuche selbst dargethanen, Thatsache, daß die Berührung zweier oder mehrerer heterogener Metalle das wesentliche Erforderniß zur Erregung der Zuckungen sey, oder es wenigstens bis dahin zu seyn schien; und hieraus zog er die Folgerung, daß die Berührung der heterogenen Metalle selbst der bis dahin unberücksichtigte, aber in Wahrheit zu Grunde liegende, Umstand sey, der das plötzliche Hervortreten der El. bedinge. Indem nun Volta diese wahrhaft fundamentale Ansicht weiter verfolgte, vereinigte er unter einem einzigen Gesichtspunct alle, bis dahin von Galvani angestellte, Versuche, und gab die Mittel an, die Wirkungen derselben sicher und im höchstmöglichen Grade der Stärke, dessen sie fähig waren, immer wieder hervorzubringen. Eine prüfende Anwendung mehrerer Substanzen lehrte ihn, daß die stärkste Elektricitätserregung bei Berührung von Zink mit Silber oder Kupfer Statt fand, obwohl sich auch Zuckungen mit einem Metallbogen aus irgend zwei andern Metallen hervorrufen ließen.

Aus der Gesammtheit dieser Beobachtungen ergab sich denn, daß die beste Art, Galvani's Versuch zu wiederholen, folgende sey. Man nehme einen Frosch, schneide seinen Körper quer unter den vor-

dern Extremitäten durch, ziehe schnell von den ganzen hintern Extremitäten die Haut ab, entblöße darauf die Schenkelnerven, die durch NN in Fig. 49 vorgestellt sind, von allem Fleische und allen Theilen, womit sie sonst bedeckt sind, und schneide darauf die Wirbelsäule so ab, daß Ober- und Unterschenkel blos an diesen Nerven hängen bleiben. Darauf wickle man ein kleines Kupfer- oder Zinkblatt darum; lege den so präparirten Frosch auf eine isolirende Unterlage, z. B. eine, mit Gummilack gefirnißte, Glasplatte, nehme ein, in einen Bogen gekrümmtes, Stück von irgend einem andern Metall, setze es mit einem Ende auf die Belegung der Nerven, mit dem andern auf die Schenkelmuskeln auf, und man wird sogleich Zuckungen eintreten sehen, nicht allein in dem berührten Beine, sondern auch im andern. Diese Zuckungen lassen sich einige Zeit nach dem Tode nicht mehr erregen, ein Zeitpunct, der um so früher eintritt, je öfter man sie erregt hatte. Im Anfange jedoch, wenn sie schwächer zu werden beginnen, lassen sie sich durch Anwendung aller der Reizmittel, welche die thierische Erregbarkeit zu steigern vermögen, wieder anfrischen. Uebrigens verhält es sich eben so mit den Zuckungen, die man in den Organen der Frösche durch vertheilende Wirkung der gewöhnlichen El. aus der Ferne hervorruft, und es geht im Allgemeinen daraus hervor, daß diese Organe bei noch ungeschwächter Reizbarkeit auch für die schwächsten Entladungen von El. empfindliche Anzeiger sind.

Geleitet durch seine Grundidee, die ihm den Schlüssel zu dieser Wirkungsart hatte finden lassen, setzte Volta nun mit den Versuchen Galvani's mehrere Sinnesempfindungen in Beziehung, die man bisher keiner hinlänglichen Aufmerksamkeit gewürdigt hatte, unstreitig, weil sie zu einzeln dastanden, die aber, bei näherer Betrachtung, sich aufs Entschiedenste an die reizende Wirkung, welche durch wechselseitige Berührung mehrerer Metalle erregt wurde, anschlossen. So zog er z. B. einen Versuch wieder hervor, den man in einem alten Werke, Théorie du Plaisir betitelt, findet, und welcher sich ausnehmend wohl eignet, diesen Einfluß nachzuweisen. Man nehme zwei Stücke von verschiednem Metall, am besten, eins von Silber oder Kupfer und das andre von Zink, und lege eins dieser Stücke über, das andre unter die Zunge, so daß sie ein wenig nach vorn darüber hinausragen. So lange die Stücken sich nicht berühren, spürt man keine besondre Empfindung; so wie man aber die vordern Enden aneinanderdrückt, entsteht ein Geschmack ganz wie von Eisenvitriol. Hier wird nach Volta durch die wechselseitige Berührung der beiden Stücken El. rege, und die Oberfläche der Zunge, welche mit ausnehmend empfindlichen Nervenwärzchen bedeckt ist, dient ihr als Leiter. Manchmal pflanzt sich die Reizung noch zu andern Nerven fort, und

wenn man im Dunkeln ist, so sieht man eine Art Blitz plötzlich in den Augen entstehen. Auf alle empfindlichen Theile des Menschen und der Thiere wirkt dieser Reiz; und die Anatomie hat hierin ein eben so sichres als empfindliches Mittel gefunden, das Daseyn der zartesten Nervenfasern in den verschiednen Organen der Thiere zu entdecken, indem diese dadurch in Zuckung versetzt werden.

Galvani suchte seine Ansicht von einer thierischen El. gegen den Professor von Pavia zu behaupten; er setzte ihm die Zuckungen entgegen, die durch einen Bogen von einem einzigen Metall erregt werden, und änderte die Umstände dieses Versuchs auf mehrfache Weise ab. Wenn man z. B. einen Frosch nach der von uns angegebenen Weise schnell präparirt hat und man wirft ihn sogleich auf ein recht reines Queckſilberbad, so zeigen sich gewöhnlich Zuckungen. Volta erwiederte, daß selbst in diesem Fall irgend eine Ungleichartigkeit zwischen den verschiednen Theilen des leitenden Bogens, entweder in der Queckſilberoberfläche, oder vermöge Berührung der Metalle, mittelst deren der Frosch präparirt worden ist, Statt finden könne. Wirklich reichen die schwächsten Verschiedenheiten in den Substanzen, aus denen die leitende Kette gebildet wird, hin, Zuckungen zu erregen, die vorher nicht entstanden. Belegt man z. B. die Froschnerven mit einem Blatt von unreinem Blei, wie es von den Glasern gebraucht wird, und schließt den Kreis vollends mit einem Bogen von dem nämlichen Metall, das von dem nämlichen Blatt genommen, und mithin mit jenem von ganz gleicher Beschaffenheit ist, so sieht man selten einen Erfolg. Schließt man aber den Kreis mit gereinigtem Blei, wie es von den Probirern angewandt wird, während die Belegung der Nerven die nämliche bleibt, so treten sogleich Zuckungen ein, ja es reicht schon hin, den Bogen aus Einem Metall an ein andres Metall zu reiben, um ihm eine hinreichende Heterogeneität zu ertheilen, wie Hallé dargethan hat. Dessenungeachtet gab Galvani nicht nach; er trieb die Vorsicht soweit, die Froschorgane mit messerförmig gestalteten Glasstreifen zu präpariren. Auch jetzt erhielt er noch Zuckungen, aber blos in den von uns angegebenen Fällen, nämlich bei ausnehmend lebhafter Reizbarkeit. Endlich glückte es ihm bei einem Präparat, das mit aller dieser Vorsicht verfertigt war, Zusammenziehungen durch bloße Berührung der Muskeln und Nerven des Thieres selbst hervorzurufen, ohne sonst eine Substanz zur Schließung des Kreises anzuwenden [1]). Wenn sich jedoch, wie Voltas Ansicht ist, und wie wir sogleich

---

1) Um diese Wirkung zu erhalten, muß man den Frosch schnell präpariren, wie ich S. 280 beschrieben habe, ihn dann mit einer Hand an einem seiner Schwimmfüße fassen und in umgekehrter Lage halten, so daß die Schen-

weiter darthun werden, El. bei bloßer wechselseitiger Berührung zweier Metalle entwickelt, so ist eben so wohl möglich, daß sie auch durch Berührung irgend zweier andern heterogenen Substanzen, wie der Muskeln und Nerven, erregt werden kann. Nur wird es, wenn diese Wirkung vielleicht weit schwächer ist, als die von Metall auf Metall, eines noch viel leichter erregbaren Elektroskops bedürfen, sie wahrnehmbar zu machen; eines Elektroskops, wie es die Froschorgane in den ersteu Augenblicken nach dem Tode abzugeben scheinen. Diese neue, obwohl an sich sehr merkwürdige, Entdeckung Galvani's führt also nur zu einer Verallgemeinerung von Volta's Ansicht, anstatt sie umzustoßen.

Es handelt sich jetzt darum, diese Ansicht durch Erfahrungsbeweise zu begründen. Zu diesem Zweck nimmt Volta zwei Metallscheiben, die eine von Zink, die andre von Kupfer, von etwa einem Quadratzoll Fläche, die recht eben, nicht gefirnißt, und in ihrer Mitte mit isolirenden, senkrecht auf ihre Oberflächen angebrachten, Stäben versehn sind, mittelst deren sie sich, ohne daß man sie selbst berührt, an einander bringen lassen. Man nähert auf diese Weise beide Scheiben einander, bis sie sich berühren, Fig. 50, trennt sie darauf, indem man sie parallel von einander zieht und prüft ihren el. Zustand mittelst eines Strohhalm- oder Goldblattelektroskops. Da jedoch die El., die sich durch eine einmalige Berührung auf denselben entwickelt, immer ausnehmend schwach ist, so läßt man ihre Repulsivkraft nicht so ohne Weiteres auf das Elektroskop wirken; vielmehr versieht man dieses mit seinem kleinen Condensator mit gefirnißten Platten, und häuft hierauf die El. von mehrmaligen Berührungen an, indem man seine obere Platte mit dem Erdboden in Verbindung setzt, und seine untre Platte, welche mit den Strohhalmen in Verbindung steht, mit der Metallscheibe berührt, deren El. man prüfen will. Ist dies geschehen, so zieht man diese Scheibe zurück, berührt sie, so wie die andre, um sie wieder in natürlichen Zustand zu versetzen; bringt sie dann aufs Neue isolirt mit einander in Berührung; trennt sie abermals, und bringt die zu prüfende Scheibe wieder an den Condensator. Hat man die Berührung auf solche Art sieben- oder achtmal wiederholt, und

---

felnerven isolirt herabhangen, unter dem Gewicht des kleinen Rests von Wirbelsäule, der daran gelassen ist. Darauf ergreift man den freien Fuß mit der andern Hand, und beugt ihn so zusammen, daß der Schenkel in Berührung mit den Nerven kommt. Sogleich treten, wenn der Frosch sehr viele Lebenskraft hatte, Zuckungen ein. Jedoch muß man den Versuch öfters an mehrern Individuen vornehmen, ehe er einmal gelingt. Ich habe dies ausführlicher angegeben, weil die Wahrheit der Thatsache bestritten worden ist, obwohl sie unleugbar ist, wenn man den Versuch mit den hier angegebnen Vorsichtsmaßregeln anstellt.

hebt nun die obere Platte des Condensators ab, so divergiren die Strohhalme sehr stark vermöge der, durch die wiederholte Berührung der Metallscheibe in die obere Platte abgesetzten, El.; und man kann solchergestalt die Beschaffenheit dieser El. prüfen und erkennen. Zum Gelingen des Versuches ist erforderlich, daß die Platten des Condensators auf den Oberflächen, auf welchen man die El. an sie absetzt, frei von Firniß sind; denn das geringste Hinderniß würde, da sie sich in einem solchen Zustand von Schwäche befindet, ihrem Eindringen hinderlich seyn. Zur Schärfe des Versuchs ist überdies noch nöthig, daß jede Platte aus demselben Metall bestehe, als die Scheibe, mit welcher man sie berührt, widrigenfalls der el. Einfluß dieser neuen Berührung sich mit dem Erfolge der ersten verbinden, und ihre Wirkung modificiren würde. Ist man jedoch nicht im Stande, diese Bedingung zu erfüllen, so kann man sich dadurch helfen, daß man auf den Platten, da wo man sie berührt, einen kleinen Papierstreif anbringt, der mit Wasser oder sonst einer, die El. leitenden, Flüssigkeit getränkt ist. Denn, wie sich gleich zeigen wird, übt die Berührung des, mit solchen Flüssigkeiten getränkten, Papiers auf die Metalle keinen merklichen elektrischen Einfluß aus. Gesetzt nun diese Vorsichtsmaßregeln wären getroffen, und es sey, um von einer festen Vorstellung auszugehen, die eine Scheibe von Kupfer, die andre von Zink. Ist die Kupferscheibe mit der untern Platte des Elektroskops in Berührung gebracht worden, so divergiren die Halme vermöge negativer El.; wurde die Berührung mit der Zinkplatte vorgenommen, so zeigt sich die El. positiv. Also gerathen diese beiden Metalle, wenn sie isolirt und im natürlichen Zustande in Berührung mit einander gebracht werden, blos vermöge dieser, in entgegengesetzt el. Zustand: das Zink erlangt einen Ueberschuß positiver, und das Kupfer den entsprechenden Ueberschuß negativer El.

Dieser Versuch läßt sich noch auf eine andre Weise wiederholen. Man setze keine von den Platten des Condensators mit dem Boden in Verbindung, sondern lasse beide isolirt auf dem Elektroskop; jedesmal aber, wenn man beide Scheiben nach der Berührung von einander trennt, berühre man zu gleicher Zeit jede der Platten mit derjenigen von beiden Scheiben, welche mit ihr aus dem nämlichen Metall besteht. Da die freien Elektricitäten, die sie besitzen, von entgegengesetzter Beschaffenheit sind, so werden sie sich wechselseitig anziehen, und sich auf den aneinanderliegenden Flächen der Platten binden. Nach einigen solchen Berührungen trenne man die Platten und man wird jede derselben mit der Art El. geladen finden, welche der Scheibe zukommt, mit welcher sie berührt wurde.

Man könnte glauben, daß die, in diesem Fall entwickelte, El. von einer Art Druck der Platten an einander herrührt, und mithin

unter den allgemeinen Fall der Elektricitätserregung durch Druck heterogener Substanzen gehöre. Jedoch ist leicht darzuthun, daß die Wirkung, welche in Folge der Berührung von Metallen entsteht, ganz andrer Art ist, und durch einen wechselseitigen Einfluß erregt wird, der ihre natürlichen Elektricitäten zersetzt. Um diese Hauptthatsache gehörig zu begründen, stellt Volta folgenden Versuch an. Er bildet einen Metallstreifen aus zwei Stücken C, Z, Fig. 51, Zink und Kupfer, die er aneinander löthet. Darauf faßt er das Zinkende zwischen den Fingern, und berührt mit dem andern, dem Kupferende, die, gleichfalls kupferne, obere Platte eines Condensators, dessen untere Platte mit dem Boden in Verbindung steht. Hebt man darauf die berührte Platte ab, so findet man sie negativ elektrisirt. Alles in dieser Erscheinung ist vollkommen in Einstimmung mit den vorigen Versuchen; nur hat man hiebei nicht mehr die Wirkung eines Drucks oder einer Trennung zwischen den Moleculen des Zinks und denen des Kupfers zu fürchten, weil ihre Berührung auf eine dauerhafte Weise bewerkstelligt ist, und weil die Berührung mit dem Condensator zwischen Kupfer und Kupfer Statt hat, wobei keine neue El. entwickelt werden kann. Soll die, solchergestalt durch eine einzige Berührung erzeugte, El. recht deutlich hervortreten, so muß der Condensator sehr groß im Verhältniß zum Elektroskop und von bedeutender verstärkender Kraft seyn.

Gleiche Wirkungen erhält man auch, wenn man, anstatt das Zinkende mit den Fingern zu fassen, dasselbe blos an Handgriffen von Glas oder sonst einem isolirenden Stoff hält. Da das Zink aber dann nicht mehr mit dem Boden in Verbindung steht, so muß man es in Berührung mit einem Körper von großem Rauminhalt setzen, aus dem es die El. ziehen kann, die es an den Collector des Condensators abgeben soll. Dies bewerkstelligt man, indem man entweder dem Zinkstück eine große Oberfläche giebt, oder, was noch besser ist, es in Berührung mit dem Innern einer großen Leydner Flasche bringt, die inwendig mit einem Zinkblatt belegt ist, und deren äußere, gleichfalls mit irgend einem Metall belegte, Oberfläche mit dem Boden in leitender Verbindung steht.

Den so angestellten Versuch wiederhole man nun auf die umgekehrte Art. Man faße das Kupferende des Metallstreifens zwischen den Fingern, und berühre mit dem Zinkende die obere Platte des Condensators, welche auch von Kupfer ist, Fig. 52. Hebt man nach geendigter Berührung die berührte Platte ab, so zeigt sich, daß sie keine El. angenommen hat, obwohl die untere Platte mit dem gemeinschaftlichen Behälter in Verbindung steht. Und doch stehen bei diesem Versuch Kupfer und Zink noch mit einander in Verbindung, und be-

rühren sich noch, wie vorhin. Der einzige Unterschied ist, daß vorhin beide kupferne Theile, welche mit dem Zink in Verbindung standen, hinter einander lagen, während sie sich jetzt zu den beiden entgegengesetzten Seiten des Zinks befinden. Eine solche entgegengesetzte Lage ist also hinreichend, die Ladung des Condensators zu verhindern. Hieraus hat Volta den Schluß ziehen zu müssen geglaubt, daß die unbekannte Ursach, durch welche die El. bei Berührung des Kupfers und Zinks entwickelt wird, als eine anziehende oder abstoßende Beweggkraft vom Zink auf das Kupfer und vom Kupfer auf das Zink wirke. Seiner Ansicht zufolge kann bei dem ersten Versuch, wo beide Kupfertheile sich auf der nämlichen Seite des Zinks befinden, diese Kraft frei wirken, wo dann die El., die dadurch entwickelt wird, sich auf die Kupferplatte des Condensators verbreitet. Beim zweiten Versuch aber, wo das Zink sich zwischen Kupfer und Kupfer befindet, äußert sich die elektromotorische Kraft, welcher Art sie immer sey, gleich stark zu beiden Seiten des Zinks; es kann also keine El. entwickelt werden.

Diese Erklärung genügt den allgemeinen Umständen der Erscheinung; ist aber nicht der reine Ausdruck derselben, noch weniger eine nothwendige Folgerung daraus. Alles, was der Versuch von Volta darthut, ist, daß der Zink und das Kupfer bei Berührung mit einander eine Eigenschaft gleich der annehmen, welche im Allgemeinen alle heterogenen Körper zeigen, wenn sie mit einander gerieben werden. Die beiden Elektricitäten können sich dabei nicht im Gleichgewicht erhalten, in den Verhältnissen, die den natürlichen Zustand der Körper ausmachen. Sind beide Metalle isolirt, so muß der Zink einen bestimmten Ueberschuß positiver El., und das Kupfer den entsprechenden Ueberschuß negativer El. haben. Einer natürlichen Folgerung nach nun, wenn man das Kupfer mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, während der Zink immer noch isolirt bleibt, muß das Nämliche eintreten, als wenn man die Reibzeuge der Elektrisirmaschine mit dem Boden in Verbindung setzt, während die Scheibe isolirt bleibt. Die negative El., welche im Kupfer in Ueberschuß vorhanden ist, verliert sich in den Boden, und der Zink erlangt einen neuen Ueberschuß negativer El., der die, zu seinem Gleichgewicht unter diesen Umständen erforderliche, Quantität ergänzt. Der Totalüberschuß, der hieraus entsteht, verbreitet sich nicht allein über die ganze Oberfläche des Zinks, sondern kann sich auch noch weiter fortpflanzen und pflanzt sich wirklich über alle Leiter fort, welche von der Beschaffenheit sind, daß sie bei Berührung des Zinks das Gleichgewicht seiner natürlichen Elektricitäten nicht stören; eben so wie auch der Ueberschuß positiver El., welcher durch die Reibung auf der Scheibe der Elektri-

sirmaschine erregt wird, sich über die benachbarten Leiter verbreitet. Und die, solchergestalt durch Mittheilung sich fortpflanzende Quantität ist auch in beiden Fällen gleicherweise durch die Bedingung beschränkt, daß die Repulsivkräfte, welche von den Ladungen beider Körper auf die Puncte, durch welche sie mit einander in Verbindung stehen, ausgeübt werden, einander gleich sind. Bringen wir nun den Zink Z, zwischen zwei Kupferstücke C, C′, Fig. 53, deren eins C mit dem Boden in Verbindung steht, so werden die Verhältnisse des Zinks zu diesem Stück von der eben beschriebenen Art seyn; d. h. das Kupferstück C wird sich im natürlichen Zustande befinden, und das Zinkstück Z einen Ueberschuß positiver El. besitzen, den wir durch + e vorstellen können. Hätte nun dieses nämliche Zinkstück blos mit seiner andern Fläche mit dem andern Kupferstück C′ in Berührung gestanden, und wäre letztres in unmittelbarer Verbindung mit dem Boden gewesen, so würde die Ladung des Zinks noch die nämliche gewesen seyn, und wieder + e zum Ausdruck gehabt haben, während die des Kupferstücks C′ null gewesen wäre, wegen seiner Verbindung mit dem Boden. Nun findet eine solche Verbindung des Stücks C′ wirklich durch das System des Zinks und untersten Kupferstücks hindurch Statt; und nichts hindert daher das Kupferstück C′, aus dem Boden durch dies System hindurch die positive El. zu ziehen, deren es bedarf, um den, bei seiner Berührung mit dem Zink angenommenen, Ueberschuß negativer El. zu neutralisiren, und um sich so in die Bedingungen zu versetzen, welche das el. Gleichgewicht nöthig macht, wenn das, mit dem Boden in Verbindung stehende, Kupferstück mit dem Zink in Berührung ist. Wir haben durch den ersten Versuch gesehen, daß diese Bedingungen das Kupfer in natürlichen Zustand versetzen, wenn das Zink + e hat; dies wird also auch der Zustand des obern Kupferstücks C′ unter diesen Umständen seyn; so daß das el. Gleichgewicht des ganzen Systems folgendermaßen ausgedrückt werden wird, wo das Zeichen + einen Ueberschuß positiver El. andeutet.

Oberes, auf dem Zink liegendes, Kupferstück C′ . . . 0
Zinkstück Z, unter C′, über C liegend . . . . . + e
Unteres, mit dem Boden in Verbindung stehendes,
Kupferstück C . . . 0

Es ergiebt sich mithin aus dieser Zergliederung der Erscheinung, daß ein solches System dem Condensator in der That keinen Ueberschuß der Ladung mittheilen kann, wenn man es am Stück C mit der Hand faßt, und mit dem Stück C′ den Collector des Condensators berührt, der ebenfalls aus Kupfer ist; und um zu diesem Resultate zu gelangen, haben wir keine Hypothese nöthig gehabt, sondern blos

die Bedingung des el. Gleichgewichts, welche sich aus dem ersten Versuch ergab, wo das obere Zinkstück blos mit einem, mit dem Boden in Verbindung stehenden, untern Kupferstück in Berührung ist, klar auszusprechen und in folgerechter Schärfe anzuwenden gebraucht. Man wird weiterhin sehen, daß die nämliche Betrachtungsart mit derselben Leichtigkeit mehrere andre Fälle erklärt, in welchen eine el. Wirkung Statt hat, obwohl der Zink in mehr oder minder vollkommner Berührung mit zwei Stücken des nämlichen Metalls ist, so daß diese Erscheinungen, welche bisweilen als der Ansicht einer Elektricitätserregung durch Berührung heterogener Substanzen entgegen angeführt worden sind, vielmehr eben so viel Beweismittel für dieselbe abgeben, wenn sie aus ihrem wahren Gesichtspuncte betrachtet werden.

Wenn man nun den Condensator mit dem Kupferende eines Streifens aus Kupfer und Zink berührt, dessen Zinkende mit dem Boden in Berührung steht, wie in Fig. 51, so kann, unsrer Ansicht zufolge, die Größe der Ladung, welche der Collector annimmt, nicht von der Ausdehnung der Berührungsoberflächen des Kupfers und Zinks abhängen, sondern blos von der Repulsivkraft, welche die El. ausübt, wenn sie in Gleichgewicht auf diesen Oberflächen ist; so daß alle Streifen, mögen sie groß oder klein seyn, dem nämlichen Condensator gleiche Quantitäten El. mittheilen müssen. Indeß kann diese Gleichheit nur in Bezug auf die endlichen Gesammtladungen Statt haben; denn was den Fortgang der Ladung betrifft, so muß dieser schneller bei großen als bei kleinen Berührungsoberflächen erfolgen. Die ausnehmende Geschwindigkeit jedoch, mit welcher der Umlauf der El. durch die Metalle geschieht, macht diesen Unterschied unmerklich, indem die Ladung des Condensators jedenfalls in einer so kurzen Zeit geschieht, daß sie ganz augenblicklich scheint, wo dann für den Anschein aller Zeitunterschied verschwindet. Uebrigens hat man vielleicht auch nicht hinlängliche Aufmerksamkeit darauf verwendet, ganz kleine Unterschiede dabei wahrzunehmen. Es wäre nicht unmöglich, daß die Gestalt der Berührungsoberfläche, wenn sie ganz klein wäre, auf die Bedingungen des Gleichgewichts sich von Einfluß zeigte, indem sie der el. Schicht eine Gestalt ertheilte, wodurch ihre Repulsivkraft sehr verstärkt oder sehr geschwächt würde, woraus dann eine Vermehrung oder Verminderung der absoluten Quantitäten von El., welche sich im getrennten Zustande darauf erhalten ließen, fließen würde. Wenigstens ist dies eine Frage, deren Untersuchung von Wichtigkeit wäre, und sich zugleich leicht anstellen ließe, indem man den Kupfer- und Zinkstreifen an ihrer Berührungsstelle nur so weit zu verdünnen brauchte, daß sie daselbst auf bloße Drahtdicke reducirt würden; oder indem man

ihnen die Gestalt zweier converen Oberflächen gäbe, die einander an einem einzigen Puncte berührten.

Die Metalle und eine große Menge nicht metallischer Substanzen wirken auf ihre natürlichen Elektricitäten, wie der Zink und das Kupfer, wenn man sie in Berührung mit einander bringt; und es läßt sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß diese Eigenschaft in verschiednen Graden allen Naturkörpern zukommt. Unter allen Verbindungen, die sich aus denselben bilden lassen, wird es also deren geben, in welchen die Elektricitätserregung am stärksten, andre, wo sie am schwächsten oder selbst ganz unmerklich ist. Unter die erste Classe gehören die heterogenen Metalle, wenn sie in Berührung mit einander gebracht werden; unter die andre das reine Wasser, die Salzauflösungen und selbst die sauern Flüssigkeiten, wenn sie entweder in Berührung unter sich oder mit Metallen kommen.

Um diese Eigenschaft nachzuweisen, wollen wir eine, an beiden Enden offene, Glasröhre nehmen; und die eine Oeffnung derselben mit einem Kupferpfropf verschließen, der sich unten, außerhalb der Röhre, in einen Stiel von demselben Metall verlängert, wie Fig. 54 zeigt. Wir füllen darauf die Röhre mit einer der erwähnten Flüssigkeiten, z. B. mit Wasser oder einer Salzauflösung oder auch einer Säure an; und erhalten so ganz die nämliche Anordnung, als bei den aneinandergelötheten Kupfer- und Zinkstreifen. Allein die elektromotorische Wirkung wird ohne Vergleich schwächer seyn. Denn, prüfen wir sie auf die nämliche Weise, indem wir die Flüssigkeit in der Röhre mit dem Finger berühren, und den kupfernen Stiel auf die Platte des Condensators bringen, welches ganz die nämliche Verfahrungsart als beim ersten Versuch ist, so wird troß aller Wiederholung der Berührungen die berührte Platte niemals eine bemerkbare Quantität El. annehmen; und hievon macht selbst der Fall keine Ausnahme, wo die, in der Röhre enthaltene, Flüssigkeit sehr stark chemisch auf den Kupferpfropf einwirkt, es wäre denn, daß man sehr große Massen Flüssigkeit und Metall von heftiger chemischer Wirkung auf einander, z. B. mehrere Kilogramme Schwefelsäure und Eisenfeile, anwendete. Lavoisier und Laplace haben beobachtet, daß sich alsdann hinlängliche El. entwickelt, um einen Condensator so stark zu laden, daß sich Funken aus ihm erhalten lassen; sey es nun, daß das Freiwerden dieser El. vom Act der chemischen Vereinigung selbst herrührt, oder von der bloßen Reibung der, in Effervescenz befindlichen, Theilchen an einander und an den Gefäßwänden; eine Frage, die sehr schwer zu entscheiden scheint. Offenbar ist jedoch die, in diesem Fall Statt findende, Elektricitätserregung ganz andrer Art, als die, in Folge der Berührung von Metallen oder überhaupt hete-

rogener Substanzen Statt habende; weil im letzteren Fall die kleinsten Quantitäten dieser Substanzen, welche aneinandergelöthet sind und keine bemerkbare Veränderung an einander hervorbringen, dem Condensator eben so viel El. mittheilen, als die größten Massen; und um diesen Unterschied ins vollste Licht zu setzen, braucht man blos die beiden Operationen einmal so zu wiederholen, daß man zwei Metallmassen, das andremal daß man eine Metallmasse und eine tropfbarflüssige Masse nimmt, und man wird finden, daß die Wirkung des letztern Systems in Vergleich zu der des erstern ganz unmerklich ist.

Aber eben aus diesem Grunde können die Flüssigkeiten dienen, die gegenseitige Wirkung des Kupfers und Zinks fortzuleiten, ohne sie durch ihre Berührung zu schwächen. Nehmen wir z. B. den zweiten Versuch, Fig. 52, wieder vor, wo der Zink sich zwischen zwei Kupferstücken befand, so ergab sich uns, daß vermöge der, bei einem solchen System Statt findenden, Bedingungen des el. Gleichgewichts die beiden Kupferstücke sich im natürlichen Zustande befinden mußten, so daß keine Ladung des Condensators Statt finden konnte. Wohl aber wird sich derselbe laden, wenn man zwischen den Zink und den kupfernen Collector eine Schicht eines flüssigen Leiters anbringt, z. B. einen Wassertropfen oder ein, mit einer Salzauflösung befeuchtetes, Papier. Da nämlich dieser Zwischenkörper in Berührung mit dem Zink und der Kupferplatte bleiben kann, ohne eine Entwicklung ihrer natürlichen Elektricitäten in ihnen zu bedingen, so kann er nur als Leiter von einem Stück zum andern dienen, während er zugleich ihre unmittelbare Berührung als Zwischenkörper verhindert. Gesetzt also, das erste Kupferstück stände mit dem Boden in Verbindung, so werden die Bedingungen des el. Gleichgewichts im System die nämlichen seyn, als wenn der Zink isolirt in der Luft wäre, d. i. der Zink wird über das erste Kupferstück den nämlichen Ueberschuß positiver El. $+e$ haben, den er in diesem Fall gehabt haben würde. Da aber überdies seine andre Oberfläche in Berührung mit einem System von Leitern steht, in welche sein Ueberschuß von El. sich frei verbreiten kann, so wird sie sich wirklich hineinverbreiten; und der Condensator wird sich auf diese Weise laden, bis die Quantität El.. welche im Collector ungebunden bleibt, durch ihre Repulsivkraft der El. $+e$ des Zinks das Gleichgewicht hält. Dies wird vollkommen durch die Erfahrung bestätigt.

Bringt man also durch einen starken Druck zwei runde Platten, die eine von Zink, die andre von Kupfer zum Aneinanderhaften, und bedeckt, nachdem man dies Plattenpaar mit der Kupferseite auf die Hand gelegt hat, seine Zinkfläche mit einem feuchten Leiter, dessen Berührung sein eigenthümliches el. Gleichgewicht nicht stört, z. B. mit

einer Tuchscheibe, welche mit Wasser oder mit einer Salzauflösung getränkt ist, so werden alle Leiter, welche man über diesem System anbringt, den Ueberschuß positiver El. theilen, welchen die Zinkfläche und der, sie bedeckende, feuchte Körper besitzt. Legt man also auf dies erste System ein andres, ihm gleiches, so daß dessen Kupferfläche auf der feuchten Scheibe zu liegen kommt, so wird das zweite System zuvörderst als Leiter den Ueberschuß positiver El. der ersten Zinkfläche theilen, und außerdem wird das zweite Zinkstück einen neuen Ueberschuß gleichfalls positiver El. annehmen, vermöge der Berührung, in der es mit dem Kupferstück steht, an dem es haftet. Baut man auf diese Weise mehrere solche Systeme successiv über einander, so wird man einen Apparat erhalten, in welchem der el. Zustand der aufeinanderfolgenden Stücke von Unten nach Oben mit der Zahl der über einander liegenden Plattenpaare zunimmt.

Dies ist das bewundernswürdige, jetzt allgemein unter dem Namen der Voltaischen Säule oder Batterie bekannte, Werkzeug, welchem Physik und Chemie so erstaunenswerthe Resultate verdanken. Zu einer vollständigen Einsicht in seine Wirkungsart ist eine genaue Analyse des el. Zustandes erforderlich, in welchen sich die verschiednen Stücke, aus denen er besteht, setzen, so wie der Veränderungen, welche darin eintreten können, wenn man einige derselben in Verbindung mit dem Boden oder mit einem Condensator setzt. Hievon werden die folgenden Capitel handeln.

Sechzehntes Capitel.

Theorie des Voltaischen Apparats, unter Voraussetzung, daß die Leitung darin vollkommen sey.

Zuvörderst wollen wir ein einziges Element der Säule betrachten, bestehend aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte von gleichen Dimensionen, die aneinanderhaften, und wollen dessen Kupferfläche mit dem Boden in Verbindung gesetzt denken. Diese Fläche wird sich dann im natürlichen Zustande befinden, die Zinkfläche aber mit einer Schicht freier positiver El. bedeckt seyn, deren Totalquantität ich durch $+1$ ausdrücken will. Der Werth dieser Einheit wird von der Größe beider Platten abhängen und ihrer Oberfläche proportional seyn.

Während nun die Kupferfläche mit dem Boden noch in Verbindung steht, lege man auf die Zinkfläche eine Tuchscheibe, welche mit Salzwasser oder sonst einer leitenden Flüssigkeit getränkt ist, die bei

der Berührung nur durch Mittheilung elektrisirt wird. Dann wird sich die freie El. der Zinkfläche auf die Oberfläche dieses Leiters verbreiten; da aber der Zink immer den Ueberschuß positiver El. besitzen muß, den seine Berührung mit dem Kupfer erfordert, so wird er ihn dem Kupfer, und dieses ihn dem Boden wieder entnehmen. Alles dies enthält blos im Abriß das, was die, im vorigen Capitel angeführten, Versuche uns lehrten.

Unter diesen Umständen nun nehme man ein neues Plattenpaar aus Kupfer und Zink, gleich dem ersten; isolire es, nachdem man seine Kupferfläche berührt hat, und lege es mit seiner Kupferfläche auf die feuchte Scheibe, wie Fig. 55 vorstellt. Jetzt tritt nun nach Volta's Theorie eine doppelte Wirkung ein: 1) die Zinkfläche dieses zweiten Plattenpaars behält den Ueberschuß positiver El. + 1, den sie vermöge der Berührung mit dem Kupfer besitzt; 2) das ganze Plattenpaar theilt die freie El. der Scheibe, wie jeder andre leitende Körper thun würde. Die Scheibe ersetzt ihren, hiedurch erlittenen, Verlust aus dem, unter ihr befindlichen, Zink, dieser aus dem Kupfer und das Kupfer aus dem Boden; so daß nach einem Zeitraum, der, im Fall eines vollkommnen Leitungsvermögens, unendlich klein seyn muß, ein beharrlicher el. Zustand eintritt, in welchem die Quantitäten freier El. sich so verhalten, wie nachstehende Tabelle angiebt:

Oberes Plattenpaar	Zinkfläche Z_2 an C_2 haftend	+ 2
	Kupferfläche C_2 auf der feuchten Scheibe liegend	+ 1
Unteres Plattenpaar	Zinkfläche Z_1 an C_1 haftend	+ 1
	Kupferfläche C_1 mit dem Boden in Verbindung stehend	0

Auf dies System lege man eine zweite feuchte Scheibe, und darüber ein drittes Plattenpaar aus Kupfer und Zink, wie vorhin, Fig. 56. Die Zinkplatte dieses neuen Paars wird den Ueberschuß positiver El. + 1 behalten, den sie vermöge ihrer Berührung mit dem Kupfer besitzt, überdies aber, als Leiter, die freie El. der untern Plattenpaare theilen, die sich auf Kosten des Bodens wieder ersetzt. Man wird daher, wenn der el. Zustand zum Beharren gekommen ist, haben:

Plattenpaar 3	Zinkfläche Z_3 an C_3 haftend	+ 3
	Kupferfläche C_3 auf der feuchten Scheibe l_2 liegend.	+ 2

Plattenpaar 2 { Zinkfläche Z_2 an C_2 haftend .... +2 / Kupferfläche C_2 auf der feuchten Scheibe l_1 liegend ..... +1

Plattenpaar 1 { Zinkfläche Z_1 an C_1 haftend .... +1 / Kupferfläche C_1 mit dem Boden in Verbindung stehend 0

Fährt man auf dieselbe Art fort, immer mehr Plattenpaare übereinander zu legen, so werden die Quantitäten freier positiver El. von Unten nach Oben in einer arithmetischen Progression zunehmen.

Bei dieser Theorie ist vorausgesetzt, daß die Fortleitung der El. durch die feuchten Scheiben ohne alle Schwächung Statt habe, wie im Fall eines vollkommnen Leitungsvermögens derselben. Ferner liegt die Annahme dabei zu Grunde, daß die, zwischen die metallnen Plattenpaare eingeschichteten, Flüssigkeiten sich durchaus nur durch Mittheilung elektrisiren, oder wenigstens, daß, wenn sie durch ihre Berührung die freie Mittheilung der El. modificiren, die darin verursachte Veränderung so unbedeutend ist, um aus der Acht gelassen werden zu können. Endlich tritt noch, hinsichtlich des Uebergangs der El. von einem Elemente der Säule zum andern, die dritte Annahme hinzu, daß der Ueberschuß von El. + 1, den der Zink dem Kupfer nimmt, sich für diese beiden Metalle gleich bleibt, mögen sie sich im natürlichen Zustande befinden oder nicht. Diese letztre Voraussetzung ist die einfachste, die sich denken läßt; bei alle dem aber bleibt es nur eine Voraussetzung, für welche die oben angeführten Fundamentalversuche keinen Beweis liefern. Ich habe von Coulomb gehört, dies Gesetz habe ihm bei einer erfahrungsmäßigen Untersuchung richtig geschienen. Offenbar läßt es sich mit Genauigkeit nur durch die el. Wage nachweisen, indem man die Quantitäten freier El. in verschiednen Höhen der Säule mißt; allein hiebei kommt der störende Einfluß der stets unvollkommnen Leitungsfähigkeit der feuchten Leiter, so wie mehrerer andern, in einem der folgenden Capitel zu erörternden, Ursachen ins Spiel. Wie dem auch sey, so wollen wir doch die Gleichheit der Unterschiede, um deren Bestätigung es sich handelt, als das einfachste der denkbaren Gesetze, jetzt vorläufig zu Grunde legen, und durch Berechnung die Folgerungen daraus herzuleiten suchen.

Zuvörderst, wenn man mit einer Hand die Grundfläche der Säule berührt und die andre Hand an ihre oberste Platte bringt, so werden alle Ueberschüsse der El. + 1, + 2, + 3 .... der verschiednen Plattenpaare sich durch die Körpertheile hindurch in den allgemeinen Behälter entladen. Gesetzt nun, die Fortleitung der El. im Innern

der Säule geschähe vollkommen frei oder wenigstens sehr schnell im Verhältniß zu ihrer Fortleitung durch die Organe, so wird diese Entladung eine Erschütterung hervorbringen müssen wie die Entladung der Leydner Flasche, mit dem bemerkenswerthen Unterschiede jedoch, daß die Empfindung davon anhaltend seyn wird. Denn da die Säule sich auf Kosten des Bodens immer wieder weit schneller ladet, als die Organe sie zu entladen vermögen, so wird die oberste Platte sich immer fast eben so stark, als vor der Berührung, geladen finden. Die Erfahrung stimmt mit diesen Angaben vollkommen überein. Man kann auch auf solche Weise, aber in ohne Vergleich stärkerm Grade, alle Geschmacks- und Lichtempfindungen hervorrufen, die wir durch ein einziges Plattenpaar erhielten.

Um zu wissen, wie viel in diesem Fall die gesammte Quantität El. beträgt, welche sich bei jeder Berührung entladet, braucht man nur die Summe von den Quantitäten El. zu nehmen, welche zufolge der obigen Bestimmungen in freiem Zustande in den verschiednen Plattenpaaren des Apparats vorhanden sind. Der einfachern Schätzung halber kann man dabei die feuchten Scheiben als unendlich dünn annehmen und die Quantität El. vernachlässigen, die sich an ihren äußern Umkreis begiebt; dann werden die vorhin betrachteten Quantitäten, die sich auf den Oberflächen des Kupfers und Zinks verbreitet haben, die einzigen seyn, deren Summe man zu nehmen hat. Man findet auf diese Weise, daß ihre Summe dem Quadrat der Zahl der Plattenpaare proportional ist. Wie wir jedoch weiterhin sehen werden, schwächt die Unvollkommenheit der feuchten Leiter dies Resultat um Vieles.

Wir haben die Säule folgendermaßen aufgebaut angenommen: Kupfer, Zink, feuchter Leiter, Kupfer u. s. w., so daß die erste Kupferplatte mit dem Boden in Verbindung stand. Man könnte sie aber auch in entgegengesetzter Ordnung schichten, Zink, Kupfer, feuchter Leiter, Zink u. s. w., so daß man die erste Zinkplatte mit dem Boden in leitende Verbindung setzte. Die Theorie für diesen Fall würde ganz die nämliche seyn, blos mit dem Unterschiede, daß unsre Einheit $+1$ negativ zu setzen wäre, d. h. daß die Quantitäten freier El. negativer Beschaffenheit seyn würden.

Anstatt die Metallplatten in eine verticale Säule übereinander zu schichten, kann man sie auch parallel neben einander auf isolirenden Trägern, z. B. gefirnißten Glasstäben, aufstellen. Anstatt aber dann zwischen sie Tuchscheiben zu bringen, die sich schwer vertical erhalten lassen würden, ordnet man sie so an, daß sie eine Art kleiner Zellen zwischen sich lassen, von denen sie die äußern Wände bilden; und in diese Zellen gießt man alsdann die Flüssigkeiten, wel-

che als Leiter dienen sollen. So eingerichtete Apparate nennt man Trogapparate (appareils à auges), Fig. 57. Man kann auch Kupfer- und Zinkstreifen mit ihren Enden an einander löthen, und an der gelötheten Stelle so krümmen, daß jedes Metall in ein, theilweis mit leitender Flüssigkeit gefülltes, Glas- oder Porzellangefäß tauchen kann. Eine Folge solcher Gefäße bildet eine elektromotorische Kette, deren Enden zu bequemerer Anstellung der Versuche durch kreisförmige Anordnung einander genähert werden können. Dies ist Volta's sogenannter Becherapparat (appareil de tasses à couronne). Weiterhin werden wir untersuchen, welche Nachtheile und Vorzüge jede dieser Einrichtungen mit sich führt, für jetzt genügt es, ihre verschiedne Einrichtung kennen gelehrt zu haben. Was ihre el. Wirkungsart betrifft, so ist sie bei allen ganz die nämliche, und die erörterte Theorie auf alle gleich anwendbar.

Wir wollen jetzt an den obern Theil der Säule, oder überhaupt an die letzte Platte des Apparats, einen Condensator anbringen, dessen untere Platte mit dem Boden in Verbindung steht. Vor der Berührung besaß jene letzte Platte der Säule, die ich immer als eine Zinkplatte annehme, die freie positive El., welche ihr vermöge der Stufe, die sie in der Säule einnahm, zukam. Der Condensator entzieht ihr einen Theil derselben, den sie sogleich wieder aus der unter ihr befindlichen Platte ersetzt, diese aus der folgenden, u. s. f. bis zur letzten Platte, welche Alles aus dem Boden nachzieht. Diese Bewegung muß somit fortdauern, bis die oberste Platte die nämliche Quantität freier El. wieder aufgenommen hat, die sie anfangs besaß, und die der Stelle, welche sie einnimmt, zukommt. So wird sich also der Condensator laden, bis sein Collector die nämliche Spannung hat, als diese Platte.

Wäre die Säule in entgegengesetzter Ordnung geschichtet, so daß der Zink mit dem Boden in Verbindung stände, so würde die freie El. an ihrer obersten Platte negativ seyn, und die Ladung des Condensators der vorigen der Quantität nach gleich, aber ebenfalls negativ.

So wie die El, der Säule sich im Condensator anhäuft, eben so wird sie sich im Innern einer Leydner Flasche oder einer el. Batterie anhäufen, deren äußere Belegung mit dem allgemeinen Behälter in Verbindung steht; und da in dem Maße, als die Säule entladen wird, sie sich auch wieder auf Kosten des nämlichen Behälters ladet, so wird die Batterie, welches auch immer ihre Capacität seyn mag, sich ebenfalls laden, bis die Repulsivkraft ihrer freien El. derjenigen das Gleichgewicht hält, welche in der obersten Platte der Säule vorhanden ist. Zieht man alsdann die Batterie zurück, so wird sie die

Erschütterung geben, welche diesem Grade der Repulsivkraft entspricht; wie dies auch die Erfahrung bestätigt.

Damit die Wirkung des Condensators auf die Säule regelmäßig, gleichförmig und möglichst kräftig sey, muß man die größte Sorge tragen, zwischen seinen Platten und den Polen der Säule (so nennt man ihre erste und letzte Platte) eine vollkommene Verbindung zu bewerkstelligen; denn da die Quantitäten freier El. ausnehmend gering sind, so reicht das geringste Hinderniß hin, ihre Fortpflanzung zu hemmen oder beträchtlich zu verlangsamen; wo dann der Condensator sich weit weniger El. aneignet, als der Fall seyn würde, wenn eine vollkommen leitende Verbindung Statt fände. Noch schlimmer, wenn die Art der Verbindung selbst veränderlich ist, wie wenn man den Condensator in der Hand hält, und sich begnügt, den Gipfel der Säule mit dem Knopfe seines Collectors zu berühren. Thut man dies mehrmals hintereinander bei der nämlichen Säule, so können die Quantitäten El., mit denen sich der Collector ladet, binnen eines Augenblicks zwischen dem Einfachen, Dreifachen, ja selbst Vierfachen wechseln; anstatt daß sich hierin eine vollkommene Gleichheit zeigen wird, wenn man die Verbindung auf eine gleichförmigere Weise bewerkstelligt. In der That ist dies durchaus nothwendig, um den elektrischen Zustand der Säule auf genaue Weise erforschen und messen zu können.

Nach vielen Versuchen hat mir folgende Einrichtung des Apparats die zweckmäßigste geschienen: Auf einem festen Tisch befestige ich mit Schrauben ein hölzernes Parallelepipedum AB, Fig. 58, das mit Stanniol belegt ist. Das Ende A dieses Parallelepipedums trägt einen, oben abgekürzten und gut polirten, Metallkegel, auf welchem die Säule ruht; das andre Ende B einen verticalen und beweglichen Metallstab TT, der sich in eine Metallplatte endigt, auf welcher man durch eine Metallschraube den Fuß des Condensators unbeweglich befestigt. So kann man dies Instrument bis zur Höhe der Säule, mit der man den Versuch anstellt, bringen, ohne der Genauigkeit der Verbindungen Eintrag zu thun. Die Scheiben, deren ich mich bediene, sind alle von gleichen Dimensionen; jede Zinkscheibe ist mit der entsprechenden Kupferscheibe durch gewaltsamen Druck vereinigt worden, und haftet mittelst eines umgebogenen Randes an ihr, so daß beide stets in vollkommener Berührung unter einander sind. Man hat diese Scheibenpaare, die sich, wenn sie neu sind, als völlig gleich ansehen lassen, dann blos noch übereinander zu legen, welches, da sie recht parallel geschliffene Flächen besitzen, ohne Hülfe von Seitenstützen geschehen kann. Dadurch vermeidet man noch die Art Verbindung, die zwischen den Polen der Säule durch das unvollkommene Isolirungs-

vermögen dieser Stützen zum großen Nachtheil des Apparats hervorgebracht werden würde.

Um nun die Verbindung des Condensators mit dem Gipfel der Säule auf eine, sich stets gleich bleibende, Weise zu bewerkstelligen, setze ich auf letztre ein kleines, mit Quecksilber gefülltes, eisernes Gefäß, das unten recht wohl gereinigt ist; der Knopf des Condensators und das Ende seines biegsamen Schafts sind auch von Eisen. Hat man dann das Instrument bis zur Höhe der Säule gebracht, so braucht man nur seinen Knopf mittelst einer gefirnißten Glasröhre in das Quecksilber herabzudrücken, und dann den Schaft durch seine eigne Elasticität zurückspringen zu lassen; man wird auf diese Weise sicher seyn können, eine so gleichförmige und augenblickliche Berührung zu erhalten, als sich nur wünschen läßt. Man kann sie alsdann, wenn man will, noch weiter verlängern, um zu sehen, ob die Zeit auf die Ladung des Condensators Einfluß hat. Wenn der Schaft aus dem Quecksilber heraus ist, hebt man den Collector recht parallel mit sich selbst ab, und berührt ihn mit der unbeweglichen und isolirten Kugel der elektrischen Wage. Man bringt diese Kugel in ihren Glaskasten zurück; die bewegliche Scheibe, die ich als im natürlichen Zustande befindlich ansehe, kommt mit ihr in Berührung und wird sogleich auf eine gewisse Entfernung abgestoßen, welche man beobachtet; oder man kann auch den Aufhängungsfaden drehen, bis die Scheibe auf einen festen Abstand von der Kugel zurückgebracht ist. Bei dem einen, wie bei dem andern Verfahren wird, da sich die Scheibe durch Berührung und auf Kosten der Kugel elektrisirt, der Drehungswinkel das Quadrat der Quantität El. messen, welche der Kugel vom Condensator und diesem von der Säule mitgetheilt worden ist. Diese Quantität läßt sich sonach sehr genau schätzen. Ich habe mich überzeugt, daß man mittelst dieses Verfahrens aus einer Reihe hintereinander angestellter Versuche vollkommen vergleichbare Resultate erhält; was keineswegs der Fall ist, wenn man sich der Vorsichtsmaßregeln überhebt, welche die Vollkommenheit und Gleichmäßigkeit der Berührung mit dem Condensator zu sichern dienen.

Vergleicht man auf diese Weise die Ladungen, die durch Säulen von gleich viel Plattenpaaren, aber mit verschiednen leitenden Flüssigkeiten aufgebaut, erhalten werden, so findet man, daß für das Wasser, die verdünnten Säuren, die meisten Salzauflösungen, überhaupt alle Substanzen von kräftigem Leitungsvermögen kein merklicher Unterschied in der Quantität freier El., welche die, mit ihnen aufgebaute, Säule hergiebt, Statt findet, und daß sie diese durch eine, für uns augenblickliche, Berührung hergiebt. Man kann selbst die Größe der Oberfläche der meisten dieser Leiter ausnehmend vergrößern

oder verkleinern, ohne daß eine bemerkbare Veränderung in der Ladung die Folge davon ist, wovon der Grund ohne Zweifel in der beinahe unendlichen Leichtigkeit zu suchen ist, mit welcher sich die elektrischen Ströme auf ihrer Oberfläche fortpflanzen. Jedenfalls aber läßt sich hieraus eine genügende Bestätigung von Volta's Ansicht ziehen, daß diese Substanzen durchaus nur die Rolle von Leitern spielen, und daß ihre Berührung oder chemische Wirkung nicht die bedingende Ursach der Elektricitätserregung ist. Jedoch findet man auch Flüssigkeiten, welche bei gleicher Zahl der Plattenpaare ungleiche Ladungen geben, sey es, daß sie durch ihr Dazwischentreten das Leitungsvermögen zu sehr schwächen, wie wir weiterhin erörtern werden, oder auch, daß sie die Bedingungen des elektrischen Gleichgewichts durch ihre Berührung oder durch die Art der chemischen Verbindungen, die sie mit den übrigen Theilen des Apparats eingehen, modificiren. Alle diese Verschiedenheiten haben sich bei den zahlreichen Versuchen dargeboten, welche von den Physikern seit der ersten Zeit der Entdeckung angestellt worden sind.

Bei den vorigen Betrachtungen haben wir stets vorausgesetzt, daß der elektromotorische Apparat durch seine Basis mit dem Boden in Verbindung stände, und aus diesem alle Quantitäten freier El. an sich ziehen könnte, die zum Gleichgewicht seiner Theile erforderlich wären. Gesetzt aber, alle Stücke, aus denen der Apparat besteht, hätten ursprünglich auf einem Isolatorium gelegen, und die Säule selbst, so wie der Beobachter, der sie aus jenen Stücken aufbaut, wären während des Aufbaues isolirt, so würden die, zum Gleichgewicht erforderlichen, Quantitäten freier El. nicht aus dem Boden angezogen werden können, sondern die Säule müßte sie aus sich selbst durch Zersetzung der natürlichen Elektricitäten ihrer Platten ziehen. Der Zinkpol würde somit einen Ueberschuß freier positiver El. annehmen, dem ein gleicher Ueberschuß negativer El. am Kupferpol entspräche, und von diesen Polen an würden die Quantitäten freier El. bis zur Mitte der Säule abnehmen, die sich in neutralem Zustande befinden müßte. Es ist nämlich ersichtlich, daß auf solche Weise der Bedingung gleicher Unterschiede in der Ladung, von einem Element der Säule zum andern, Genüge geschieht, und so die Rangordnung, die den Elementen im nicht isolirten Apparat angewiesen war, nicht gestört wird. Diese Betrachtungen finden sich durch die Erfahrung bestätigt, wenigstens ihren allgemeinen Ergebnissen nach. Alle Säulen, selbst wenn sie in freier Gemeinschaft mit dem Boden aufgebaut wurden, setzen sich von selbst in den eben beschriebenen Zustand, wenn man sie einige Zeit hindurch auf ein Isolatorium stellt; weil die, sie berührende Luft ihnen allmälig ihre freie El. entzieht, worauf sie sich nur auf ihre

eignen Kosten wieder laden können; und die, aus dieser Zersetzung hervorgehenden, Resultate sind dann die einzigen, welche andauern, wenn die Quantitäten El., die ursprünglich aus dem Boden angezogen worden waren, mit der Zeit erschöpft sind. Unter diesen Umständen sind die elektroskopischen Zeichen an den beiden Polen der Säule sehr schwach, und selbst die stärksten Condensatoren werden nicht merklich dadurch geladen. Diese Erscheinung ist um so bemerkenswerther, da sie sich nicht mit der Theorie des Gleichgewichts durch Gleichheit der Unterschiede verträgt. Denn nach dieser Theorie muß zwar die Ladung des Condensators durch die isolirte Säule geringer seyn, als durch die nicht isolirte; allein das Verhältniß der Schwächung, was nach ihr Statt finden sollte, reicht bei Weitem nicht an das, was die Erfahrung nachweist; wie in meinem größern Werke erörtert zu finden ist.

In Erwägung dieses Widerspruchs bin ich auf den Gedanken geleitet worden, daß die elektrische Wirkung des elektromotorischen Apparats vielleicht nicht blos von den Elektricitätsquantitäten, welche frei auf seinen Elementen hervortreten, herrühren könnte, wie Volta's Annahme ist; sondern daß zu gleicher Zeit eine sehr große Menge gebundener El. darin vorhanden seyn möchte; und da dieser Gesichtspunct zu einer ganz andern Ansicht der Wirkungsart der Säule führt, so will ich ihn hier näher erörtern.

Nehmen wir zuvörderst die Fundamentalversuche von Volta über die Elektricitätserregung durch bloße Berührung zweier isolirten Metalle wieder vor: was ist dadurch nachgewiesen? Daß hiebei auf jedem derselben eine gewisse Quantität freier El. von entgegengesetzter Beschaffenheit hervortritt. Folgt aber hieraus, daß diese Quantitäten die einzigen sind, die sich wirklich bei der Berührung entwickeln? Unstreitig nicht; ja die Zersetzung der natürlichen Elektricitäten beider Platten bei der Berührung könnte außerordentlich bedeutend seyn, ohne sich nach Außen durch andre Zeichen, als die von uns beobachteten, zu erkennen zu geben. So lassen sich die beiden, mit Metall belegten, Flächen einer Glasplatte mit sehr beträchtlichen Elektricitätsmengen laden, ungeachtet die Antheile dieser Elektricitäten, welche auf jeder der beiden Flächen ihre Repulsivkraft frei äußern, sehr gering sind.

Nach dieser Ansicht würde ein Plattenpaar aus Kupfer und Zink einer solchen Glasplatte ganz gleich zu achten seyn, wenn, nachdem dieselbe isolirt worden wäre, die absorbirende Wirkung der Luft die Repulsivkräfte auf ihren beiden Flächen gleich gemacht hätte. Nur würde hier die isolirende Glaslage durch die unbekannten Kräfte ersetzt, welche die beiden Elektricitäten zu beiden Seiten der Berührungs-

fläche festhalten. Dann würde das Elektroskop und die elektrische Wage nur die, zu beiden Seiten dieser Fläche in freiem Zustande vorhandnen, Antheile von El. anzeigen können; und die Gesammtmengen der gebundnen Elektricitäten würden nur in dem Augenblick zum Vorschein kommen, wo man eine unmittelbare Verbindung zwischen den Scheiben bewerkstelligte, eben so wie bei der Leydner Flasche oder der elektrisirten Glasplatte zwischen den Belegungen.

Auf solche Weise würde eine vollkommene Analogie des Voltaischen Apparats mit den, im zehnten Cap. betrachteten, elektrischen Säulen Statt finden. Die Anordnung der El. darin würde ganz die nämliche seyn; die nämliche Theorie, die nämlichen Formeln würden sich darauf anwenden lassen. Wirklich wird man bemerken, daß die Resultate, auf welche wir bei Betrachtung dieser Säulen geführt worden sind, ganz die elektrischen Erscheinungen wiederholen, welche der Voltaische Apparat hervorruft, wenn er entweder durch einen Pol mit der Erde in Verbindung steht, oder sich in isolirtem Zustande befindet. Diese Ansicht würde auch die Erklärung erleichtern, wie dieser Apparat so starke Erschütterungen und insbesondre wie er chemische Erscheinungen hervorzurufen vermag, die sich sonst nur dadurch erhalten lassen, daß man beträchtliche Quantitäten El. entweder durch Batterieen oder durch ausnehmend feine Spitzen anhäuft. Diese Wirkungen würden nämlich hier in der That von einer sehr großen Quantität El. hervorgebracht, die sich im elektromotorischen Apparat angehäuft hätte. Endlich würde sich hieraus erklären, warum selbst die stärksten Säulen, wenn sie an ihrer Grundfläche isolirt sind, dem Condensator fast gar keine merkliche El. mittheilen, da sie doch beträchtliche Ladungen, ja selbst Funken hergeben, wenn man einen ihrer Pole einen Augenblick mit dem Boden in Verbindung setzt: denn wirklich lehrt die Berechnung, daß zwischen den Ladungen unter diesen verschiednen Umständen ein außerordentliches Mißverhältniß Statt finden muß; wie nach der ersten Ansicht nicht der Fall war.

Siebzehntes Capitel.

Chemische Wirkungen des Voltaischen Apparats.

Nachdem man die anhaltende Dauer der, durch die Voltaische Säule ertheilten, elektrischen Erschütterungen, beobachtet hatte, war die Zersetzung des Wassers die erste chemische Erscheinung, die man durch dieselbe hervorbrachte. Diese Entdeckung rührt von Carlisle und Nicholson her. Fügt man an die Pole des elektromotorischen

Apparats Platindrähte, die sich in ein und das nämliche, theilweis mit Wasser gefüllte, Glasgefäß begeben, so sieht man an dem Draht, der mit dem positiven Pol in Verbinduug steht, einen ununterbrochenen Strom von Sauerstoffgas und zu gleicher Zeit am andern, mit dem negativen Pol in Verbindung stehenden, Draht *) einen Strom von Wasserstoffgas sich entwickeln. Wendet man anstatt Platindrähte Drähte von Kupfer, Silber oder sonst einem leichter oxydirbaren Metall an, so fährt das Wasserstoffgas fort, längs des negativen Drahts sich zu entwickeln; aber das Sauerstoffgas entbindet sich nicht mehr in Gasgestalt, sondern verbindet sich mit dem positiven Draht, oxydirt ihn. Es macht keinen Unterschied, ob die Säule isolirt ist oder nicht.

Um zu wissen, ob die beiden Gasarten, welche sich entbinden, wirklich in dem Verhältniß, in dem sie Wasser bilden, zum Vorschein kommen, muß man sie auffangen und messen. Der zweckmäßigste Apparat hiezu ist der, in Fig. 59. vorgestellte. EE ist ein gläserner Trichter, dessen engerer Theil B durch einen Korkpfropf verschlossen ist, durch welchen man zwei kleine Glasröhren gehen läßt, die ungefähr einen Centimeter von einander abstehen, und mit ihren Enden sowohl oberhalb als unterhalb des Pfropfs etwas hervorragen. Jede Röhre dient einem Platindraht zur Hülle, der so mit Siegellack eingekittet ist, daß die Röhre völlig verschlossen wird. Das Ganze hat die Anordnung, daß die beiden Drähte sich im Innern des Trichters bis vier oder fünf Centimeter über seinen Boden erheben. Man gießt Wasser in den Trichter und bedeckt jeden Draht mit einer kleinen, gleichfalls mit Wasser gefüllten, Glasglocke. Darauf setzt man die äußern Enden der Drähte, jeden mit einem Pol der Säule, in Ver-

---

*) Man nennt die Metalldrähte, welche von beiden Polen der Säule ausgehen, und eine Verbindung zwischen ihnen zu bewerkstelligen dienen, Verbindungsdrähte, Schließungsdrähte, Leitungsdrähte, oder nach einem neuern Vorschlag von Ampère Rheophoren (d. i. Träger des Stroms). Werden die Enden beider, mit den Polen der Säulen verbundnen, Schließungsdrähte in Berührung gebracht, oder werden zwischen diese Enden andre Leiter gebracht, die die Verbindung zwischen den Polen ergänzen, so sagt man, der Galvanische Kreis oder die Galvanische Kette sey geschlossen; und von Körpern, die zwischen Theile dieser verbindenden Leiter gebracht worden sind, sie seyen in den Kreis oder in die Kette gebracht, eben so wie bei der Leydner Flasche. Man nimmt an, daß bei geschlossenem Kreise der positive Pol die positve El. aus der Säule an sich zieht, sie dann durch den Schließungsdraht nach dem negativen Pol überströmen läßt, von wo sie wieder durch die Säule zum positiven Pol zurückkehrt, um so den Kreislauf zu vollenden. Umgekehrt strömt die negative El. in der Säule vom positiven zum negativen Pol, von diesem durch den Schließungsdraht wieder zum positiven Pol und von da abermals durch die Säule zum negativen: dieser Kreislauf dauert so lange fort, als die Säule geschlossen bleibt.

bindung, worauf der Apparat in Wirkung tritt. Man läßt diese einige Zeit dauern, unterbricht sie alsdann, und mißt das Volumen der, unter jeder Glocke entbundnen, Gasart. Es wird sich zweimal so viel Wasserstoffgas als Sauerstoffgas dem Volumen nach finden; und in der That sind dies die Verhältnisse, in welchen das Wasser aus diesen Gasarten zusammengesetzt ist; dann bewirkt man durch den elektrischen Funken ihre Wiedervereinigung mittelst des kleinen, Fig. 40. vorgestellten, Apparats; es bleibt kein Gasrückstand. Um die volle Wirkung der Säule zu erhalten, muß die Verbindung der Drähte mit den Polen der Säule in vollkommnem Grade Statt haben. Am besten gelangt man hiezu, wenn man sie in ein kleines, mit Queckſilber gefülltes, Glasgefäß taucht, in welches auch zwei dicke Eisendrähte tauchen, die an die äußersten Platten des elektromotorischen Apparats gelöthet sind.

Beobachtungen, welche Gay-Lussac und Thénard mit diesem Apparate anstellten, gaben das Resultat, daß die Quantität Gas, welche in einer gegebenen Zeit durch einen und denselben Apparat, gleichviel ob Scheiben- oder Trogapparat, entbunden wurde, sich beträchtlich nach der Beschaffenheit der Substanzen abänderte, welche in dem Wasser des Trichters aufgelöst waren. In concentrirten Salzauflösungen, Mischungen von Säure und Wasser gieng die Entbindung am reichlichsten und schnellsten vor sich. Das Product derselben minderte sich in dem Maße, als weniger Salz oder Säure dazu genommen ward, und endlich, wenn der Trichter nur noch gekochtes und ganz reines Wasser enthielt, entwickelte sich fast gar kein Gas mehr. Wie es scheint, ist in diesem Fall die Dazwischenkunft des Wassers ein hinreichendes Hinderniß, den Umlauf des elektrischen Stroms von einem Pol der Säule zum andern zu unterbrechen, denn bringt man in den Schließungskreis die empfindlichsten Organe, so finden gar keine von den Wirkungen, welche der Voltaischen Apparat gewöhnlich darauf äußert, mehr Statt, wenigstens wenn der Kreis durch die Masse des Wassers selbst hindurch (nicht durch seine Oberfläche) geschlossen ist. So wird das reine Wasser, welches eine starke El., wie wir sie durch unsere gewöhnlichen Maschinen erregen, durch sich hindurchläßt, beinahe isolirend für die schwachen Repulsivkräfte, die sich durch den Voltaischen Apparat erhalten lassen *). Man kann

*) Diese Thatsache scheint einen Gegengrund gegen Biots, zu Ende des vorigen Capitels aufgestellte, Theorie von der Wirkungsart des Voltaischen Apparats abzugeben; nach welcher im Augenblick, wo beide Pole vereinigt werden, der Kreis mithin geschlossen wird, eine große Menge vorher gebundner El. ihre Repulsivkraft frei zu äußern anfangen soll. Dann müßte auch für

demnach hier die allgemeinen Gesetze in Anwendung bringen, die wir in Bezug auf die unvollkommen leitenden Substanzen aufgefunden hatten. Nämlich einmal wird für einen gegebenen Abstand der Schließungsdrähte die Isolirung nur bis zu einem gewissen Grade der Repulsivkraft vollkommen seyn, welcher von der Zahl der Plattenpaare des Apparats abhängt; und auf der andern Seite, so wie für jeden isolirenden Träger der Grad der Repulsivkraft, wo er vollkommen zu isoliren beginnt, der Quadratwurzel seiner Länge umgekehrt proportional ist; so muß es auch für jeden elektromotorischen Apparat einen gewissen Abstand der Drähte geben, bei dem die Schließung des Kreises vollkommen unterbrochen ist. Auch hier wird sich der Einfluß wieder zeigen müssen, den die mehr oder minder ausgedehnte Berührung des Trägers mit dem isolirten Körper auf die Isolirung äußert. Wirklich haben Gay-Lussac und Thénard bemerkt, daß, wenn sie die Drähte (in Fig. 59.) über einen gewissen Grad hinaus verkürzten (so daß sie also der Berührung der Flüssigkeit weniger Oberfläche darboten), die Gasentwicklung in der nämlichen Flüssigkeit sich bedeutend verminderte, dagegen wieder zunahm, wenn man eine besser leitende Flüssigkeit in den Trichter goß. Dieser Mangel an Leitungsvermögen des Wassers läßt sich auch sofort durch einen ganz einfachen Versuch nachweisen. Man isolire eine Säule, setze die Leitungsdrähte mit ihren beiden Polen in Verbindung, und tauche sie in ein, zum Theil mit gewöhnlichem Wasser gefülltes, Glasgefäß. Sogleich wird eine reichliche Gasentbindung erfolgen. Zieht man einen dieser Drähte aus dem Wasser heraus, faßt ihn mit einer Hand, und taucht die andre Hand in das Wasser des Gefäßes, so wird man die gewöhnliche Erschütterung verspüren. Anstatt dessen bewerkstellige man die Verbindung nun durch eine Wassersäule von 4 oder 5 Millimetern im Durchmesser und 3 oder 4 Centimetern Länge, was sich so bewerkstelligen läßt, daß man das Wasser des Gefäßes durch eine, an den Mund gehaltene, Röhre von den angegebenen Dimensionen ansaugt. Obwohl nun hier die empfindlichsten Organe in den Schließungskreis gebracht sind, so wird doch kaum ein schwacher Geschmack, nicht aber die geringste Erschütterung verspürt werden. So habe ich eine Säule von 68 Plattenpaaren aufgebaut, deren Pole durch nicht capillare Röhrchen, mit destillirtem Wasser gefüllt, und ungefähr von einem Meter Länge, in Verbindung gesetzt wurden. Der Apparat blieb 24 Stunden lang geschichtet, ohne daß sich ein Atom von Gas entband;

---

sie das reine Wasser als guter Leiter wirken; wie es ja auch die Entladung der Leydner Flasche nicht hemmt, mit der die obige Theorie den Voltaischen Apparat zusammenstellt.

und versuchte man, sich durch die, in den Röhren enthaltenen Wassermassen, mit beiden Polen in Verbindung zu setzen, so verspürte man auch ganz und gar keine von den Wirkungen, welche der elektromotorische Apparat gewöhnlich hervorruft. Mit einem Wort, alles zeigte sich so, als ob ein isolirender Körper zwischen beide Pole gebracht worden wäre; jedoch kamen alle Wirkungen wieder zum Vorschein, wenn man sich unmittelbar durch die freie Oberfläche des Wassers mit den Polen in Verbindung setzte [1]). Es wäre deßhalb zu wünschen, daß Gay-Lussac und Thénard bei ihren Versuchen die Drähte auch über die Oberfläche des Wassers selbst hingeleitet hätten; denn ich glaube, daß in diesem Fall die leitende Verbindung zwischen beiden Polen der Säule würde hergestellt worden seyn.

Gay-Lussac und Thénard suchten ein Verhältniß zwischen den, durch eine Säule entbundenen, Gasmengen, und den, in das Wasser des Trichters gebrachten, Salzmengen auszumitteln; fanden jedoch blos für das schwefelsaure Natrum ein einfaches Verhältniß. Die Gasmengen, welche sich in einer gegebenen Zeit entbinden, sind ganz nahe den Cubicwurzeln der Quantitäten dieses Salzes proportional, welche sich im Wasser befinden, dessen Zersetzung vor sich geht. Bei der Auflösung von Salpeter zeigte sich ein entgegengesetzter Erfolg; mit Salz gesättigt entband sie weniger Gas, als nicht damit gesättigt. Man muß jedoch hiebei berücksichtigen, daß die Zersetzung des Wassers nicht die einzige Erscheinung ist, welche bei diesen Versuchen vorgeht. Die meisten Substanzen, die sich in dieser Flüssigkeit aufgelöst befinden, und mit ihr der Wirkung des elektrischen Stroms ausgesetzt werden, erleiden ebenfalls Veränderungen in ihrem Zustande. Es läßt sich daher nicht erwarten, daß man ein beständiges oder einfaches Verhältniß zwischen der absoluten Stärke des Apparats und der bloßen Gasentbindung auffinden wird.

Das erste Beispiel dieser Wirkung der Säule auf die, vom Wasser verschiednen, Substanzen wurde von Cruikshanks bei Wiederholung der Versuche von Nicholson und Carlisle beobachtet. Als er als leitendes Mittel Wasser, mit essigsaurem Blei geschwängert, nahm, sah er den negativen Draht mit einer Menge kleiner Nadeln von metallischem Blei überzogen werden. Einen ähnlichen Erfolg erhielt er durch Auflösungen von schwefelsaurem Kupfer und salpetersaurem Silber. In letztrer setzten sich die kleinen Silbernadeln so ab, daß sie sich, wie vermöge einer Art Vegetation, aneinander gliederten, und so durch ihre Vereinigung das darstellten, was die Chemiker einen Dianenbaum nennen. Der elektrische Strom schied also hier

---

1) Journal de Physique. an 9 (1800).

die Metalle aus ihren Verbindungen mit den Säuern, durch welche sie aufgelöst gehalten wurden, und mit dem Sauerstoff, der ihre Auflöslichkeit darin vermittelt; eben so wie er im ersten Versuche mit dem bloßen Wasser den Wasserstoff von dem, mit ihm verbundenen, Sauerstoff schied; und im einen, wie im andern Fall, entband sich der Sauerstoff am positiven Pol, während die Substanzen, die ihn sättigten, am negativen frei wurden.

Um zu erfahren, von welcher Art die Ursach sey, die diese Zersetzungen hervorbringt, ließ Cruikshanks den Voltaischen Strom durch Auflösungen gehen, die mit blauen Pflanzenfarben geschwängert waren, indem diese die Eigenschaft besitzen, durch Säuern geröthet und durch Alkalien grün gefärbt zu werden. Er beobachtete, daß erstre Wirkung um den positiven, letztre um den negativen Draht Statt hatte. Dieser Versuch läßt sich auf eine eben so leichte als anziehende Art, welche von Singer in seinem Werke über die El. angegeben ist, folgendergestalt anstellen. Man biege eine etwas weite Glasröhre in Gestalt eines V und bringe in jeden Schenkel derselben einen Platindraht, den man mit je einem Pol einer Voltaischen Säule in Verbindung setzt. Darauf gieße man in die Röhre einen neutralisirten Aufguß von Braunkohl, der eine sanft blaue Farbe hat, und gegen die Wirkung von Säuern und Alkalien sehr empfindlich ist [1]). Sogleich beginnt die Zersetzung des Wassers nach gewöhnlicher Weise, und beide Gase, aus denen es besteht, entbinden sich; aber außerdem sieht man noch nach wenig Augenblicken die Flüssigkeit um den positiven Pol blau, und um den negativen grün werden. Ist diese Erscheinung deutlich hervorgetreten, so verwechsle man die Verbindung der Drähte mit den Polen, so daß der vorher negative Draht positiv, der positive negativ wird, und lasse den Apparat abermals wirken; bald wird das Roth auf der einen und das Grün auf der andern Seite verschwunden seyn; die Flüssigkeit wird in beiden Schenkeln wieder blau werden; und endlich an die Stelle jeder Farbe die ihr entgegen-

---

1) Singer giebt folgende Art an, diesen Aufguß zuzubereiten. Zu einem empfindlichen Reagens auf Säuern oder Alkalien läßt man auf eine kurze Zeit über fein gehackten Braunkohlblättern so viel warmes destillirtes Wasser stehen, als hinreichend ist, sie damit zu bedecken; die dann abgeseihete Flüssigkeit ist schön blau, und wird von den Säuern roth, von den Alkalien grün gefärbt: sie läßt sich aber nicht lange aufbewahren. Ein mehr dauerhaftes, aber unstreitig weniger empfindliches, Reagens erhält man, wenn man jeder Pinte Wassers, die man zum Aufguß nimmt, einige Tropfen Schwefelsäure zusetzt. Der Aufguß wird hiedurch roth, und, um sich desselben zu bedienen, nimmt man eine kleine Quantität davon und neutralisirt sie durch Hineinschütten einiger Tropfen Ammonium, bis die blaue Farbe wieder erschienen ist. Da es jedoch schwer hält, den Punct der Neutralisation gerade zu treffen, so muß dies Präparat im Allgemeinen dem vorigen an Empfindlichkeit nachstehen.

setzte hervortreten. In den ersten Zeiten, wo diese Entdeckung gemacht wurde, glaubte man daraus schließen zu können, daß die elektrische Wirksamkeit wirklich eine Säure um den positiven und ein Alkali um den negativen Draht bilde; durch weitere Untersuchungen indeß, die namentlich H. Davy angestellt hat, ist nachgewiesen worden, daß diese Erscheinungen nur Folge der Zersetzungen sind, die überhaupt durch den elektrischen Strom in den Mitteln, durch die man ihn gehen läßt, hervorgebracht werden. Dieser geschickte Chemiker fand, daß sich dieselben nur durch unglaubliche Vorsichtsmaßregeln verhüten lassen. So erhielt er noch Zeichen von Alkali und Säure, wenn er den Voltaischen Strom eine Zeit lang durch ganz reines Wasser gehen ließ, das in verschiednen Glasgefäßen enthalten war, welche blos durch unauflösliche faserige Stoffe, wie feuchte Asbestfasern, mit einander in leitende Verbindung gebracht waren. In diesem Fall rührt das Alkali von einer theilweisen Zersetzung des Glases selbst her; die Säure wird durch den, aus dem Wasser entbundenen, Sauerstoff gebildet, der während des Entstehens mit dem Stickstoff der umgebenden Atmosphäre zu Salpetersäure zusammentritt. Diese Spuren von Salpetersäure waren noch merklich, obwohl ganz schwach, wenn man gemeines destillirtes Wasser in goldnen Schalen anwandte; jedoch fand sich auch, daß solches Wasser noch nicht ganz frei von allem fremden Stoff war. Endlich glückte der Versuch mit destillirtem Wasser, das ganz langsam in silbernen Helmen destillirt worden war und dem elektrischen Strom in goldnen Gefäßen ausgesetzt wurde. Hier verschwanden die Spuren von Alkali und Säure vollkommen.

Indem diese Versuche die große Wirksamkeit des Voltaischen Apparats als eines Werkzeugs chemischer Zersetzungen darthaten, machten sie zugleich auf die Nothwendigkeit aufmerksam, sich gegen die Wirkungen dieser zersetzenden Kraft auf die Gefäße selbst, worin man die zu untersuchenden Auflösungen verschloß, sicher zu stellen. Versuche, bei denen Genauigkeit erforderlich war, mußten in Schalen von Gold oder Agat angestellt und der Luft der Zutritt dabei verwehrt werden. Man brachte die Auflösungen in verschiedne Schalen, und bewerkstelligte die Verbindung zwischen denselben durch Asbestfasern. Hier nun boten sich den Beobachtern eben so neue, als unerwartete Erscheinungen dar. Substanzen, die erst gemischt und in der leitenden Flüssigkeit gleichförmig vertheilt waren, trennten sich unter dem Einfluß des Voltaischen Stroms, und jede derselben fand sich in einer besondern Schale wieder. Andre, die sich erst in verschiednen Schalen befunden hatten, verwechselten ihre Schalen; so daß man in diesem Strom ein eigenthümliches Fortführungsvermögen anerkennen mußte, welches die sauern Grundstoffe im Allgemeinen am positiven

Pol ansammelte, die säuerungsfähigen Basen am negativen. Diese schöne Entdeckung wurde von zwei schwedischen Chemikern, Berzelius und Hisinger, gemacht.

Gesetzt z. B. man nehme nur zwei Schalen, und fülle alle beide mit einer Auflösung von schwefelsaurem Natrum. Nach einigen Stunden Wirkung findet sich alles Salz zersetzt; die Schale, welche mit dem positiven Pol in Verbindung steht, enthält eine Auflösung von Schwefelsäure, und das Natrum wird in der Schale gefunden, die mit dem negativen Pole Gemeinschaft hat. Dieser Erfolg kann nicht anders Statt haben, als daß das Alkali und die Säure ganz und gar aus einer Schale in die andre längs der Asbestfasern, oder vielmehr durch die, dieselben befeuchtenden, Wassermolecule übergegangen sind.

Dieser Versuch läßt sich so abändern, daß man drei, mit einander in Verbindung stehende, Schalen nimmt, von denen eine der äußersten blos destillirtes, mit einem blauen Kohlaufguß geschwängertes, Wasser enthält, während in der mittlern eine Auflösung von schwefelsaurem Kali enthalten ist. Man setzt die äußersten Schalen mit den beiden Polen einer Voltaischen Säule in Verbindung; nach einiger Zeit ist das Salz in der mittlern Schale zersetzt, und seine geschiedenen Grundbestandtheile sind in die beiden äußersten übergeführt. Die Säure hat sich in die, mit dem positiven Pol verbundene, Schale begeben und die, darin enthaltene, blaue Flüssigkeit geröthet, während das Alkali in die, mit dem negativen Pol in Verbindung stehende, Flüssigkeit übergegangen ist, und sie gegrünt hat.

Eine besonders merkwürdige Eigenthümlichkeit bei den Erscheinungen dieses Ueberführens ist, daß die Substanzen dabei manchmal durch Mittel hindurchgehen, zu welchen sie, im gewöhnlichen Verhalten, eine sehr starke Verwandtschaft besitzen, ohne sich doch beim Durchgange auf bleibende Weise mit denselben zu verbinden. Hier ein Beispiel von vielen: Man nehme die, mit einander in Verbindung stehenden, Schalen, fülle die erste, in welche der negative Draht taucht, mit einer Auflösung von schwefelsaurem Kali, die zweite, in der Mitte befindliche, mit einer Auflösung von Ammonium, welches eine sehr starke Verwandtschaft zur Schwefelsäure besitzt, die dritte endlich, worein der positive Draht taucht, nur mit reinem Wasser. So wie die Säule zu wirken anfängt, zersetzt der elektrische Strom das schwefelsaure Salz, hält das Kali in der ersten Schale zurück, und führt die Säure in die dritte über, wo man sie frei wiederfindet, obwohl sie, um dahin zu gelangen, das, in Auflösung befindliche, Ammonium durchstreichen mußte. Substituirt man dem Ammonium eine Säure und läßt den positiven Pol in die Auflösung des schwefelsauern Kalis tauchen, so wird das Kali übergeführt und begiebt sich

in die Schale, in welche der negative Draht taucht, ohne daß es durch die Verwandtschaft der Säure, durch welche es seinen Weg nehmen muß, festgehalten zu werden vermag. Ja, was noch mehr ist, selbst die empfindlichsten Reagentien scheinen von den Produkten der Zersetzung, wenn diese durch sie hindurchgeführt werden, nicht afficirt zu werden, und können keine Anzeige von denselben bei ihrem Durchgange geben. Gesetzt z. B. man nehme, wie so eben, drei, mit einander in Verbindung stehende, Gefäße, von denen zwei, das in der Mitte befindliche und das, in welches der positive Draht taucht, neutralen blauen Kohlaufguß enthalten, während das dritte, in welches der negative Draht taucht, mit einer Auflösung von schwefelsaurem Kali gefüllt ist. Sind die Gefäße durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollenfäden in Verbindung gesetzt, so wird, wenn die Säule auf die, in ihnen enthaltenen, Flüssigkeiten zu wirken anfängt, das Salz zersetzt werden, die Säure in die Flüssigkeit des positiven Gefäßes übergehen und dieses röthen, ohne im Geringsten die Farbe der im mittlern Gefäß befindlichen Flüssigkeit zu verändern, ungeachtet sie dieselbe durchstreichen muß. Kehrt man die Verbindungen der äußersten Gefäße mit der Säule um, so wird man einen ähnlichen Erfolg bei der Ueberführung des Kali beobachten *). Es scheint somit, daß die El., indem sie sich hier so zu sagen an die Theilchen, die sie überführt, anhängt, ihre natürlichen Verwandtschaften, und zwar verschieden je nach ihrer Beschaffenheit, modificirt; ein Resultat, das um so auffallender

*) Hinsichtlich der fortführenden Kräfte des Voltaischen Apparats ist noch das bemerkenswerth, daß bei der Ueberführung der Bestandtheile des Wassers, des Sauerstoffs zum positiven und des Wasserstoffs zum negativen während der Wirkung des Apparats, auch das Wasser selbst in Masse von dem positiven zum negativen Pol sich zu bewegen strebt und dadurch in den Stand gesetzt wird, Körper zu durchdringen, die es sonst nicht durchdringt. Porret in London hat bekannt gemacht, daß, wenn man einen gläsernen Cylinder vermittelst einer Blase in zwei Hälften theilt, in eine Hälfte Wasser füllt, und dieses mit dem positiven Pol einer Säule von dreißig Plattenpaaren verbindet (während wahrscheinlich sich der negative Draht in der leeren Zelle, die Blasenscheidewand berührend, befindet), das Wasser in die andre Zelle durch die Blase tritt, und endlich in ihr höher (in seinem Versuch um drei Viertelzoll höher), zu stehen kommt, als in der positiven Zelle. Dieselbe Erscheinung bemerkte Müller. Zwei besondre Glasröhren, die an ihrem untern Ende mit Blase wasserdicht verschlossen und bis zur Hälfte mit einer Auflösung von salpetersauerm Kupfer gefüllt waren, standen in einem, mit etwas destillirtem Wasser gefüllten, Glase; und der, in die eine Röhre gestellte Zinkdraht war mit dem Silberdraht der andern in Berührung. Nach einer Zeit von drei Stunden war die Salpeter-Kupfer-Auflösung aus der Zinkröhre beinahe völlig herausgetreten, und die Silberröhre hatte sich beinahe bis zum Ueberfließen damit gefüllt (Müllers Anm. zu Singer. S. 417). — Manche glauben, daß auf ähnliche Weise der Uebergang von Flüssigkeiten durch die geschlossenen Zellenwände in Thier- und Pflanzenkörpern vermittelt werde.

ist, da man bei Untersuchung der Art, wie sich die El. zwischen Körpern von merklichem Volumen vertheilt, findet, daß sie sich darin in Verhältnissen verbreitet, die blos von der Gestalt dieser Körper abhängen, ohne daß sie eine besondre Verwandtschaft zu dem Stoff, aus dem dieselben bestehen, äußert. Es wäre jedoch, wie ich schon früher angedeutet habe, wohl möglich, daß sich aus der Kleinheit der materiellen Theilchen, an welche sich der Voltaische Strom anhängt, dieser anscheinende Widerspruch erklärte; denn die absolute Menge von El., sowohl positiver als negativer, mit der die Theilchen irgend einer Substanz sich in einem gegebenen Mittel laden können, muß von ihrer Gestalt und ihrem Leitungsvermögen abhängen, ein Vermögen, welches, wie wir weiterhin sehen werden, manchmal für beide Elektricitäten sehr verschieden ist, wenn die Repulsivkraft auf den Grad der Schwäche herabgebracht ist, in welchem sie sich im Voltaischen Strom befindet. So ließe sich aus der bloßen Verschiedenheit der Gestalt und des speciellen Leitungsvermögens, welche zwischen verschiedenartigen Moleculen Statt findet, die Art und Ungleichheit ihrer elektrischen Ladungen genügend herleiten, ohne daß man die Annahme einer wahren, zwischen den Theilchen der Substanzen und den Principen der beiden Elektricitäten Statt findenden, Verwandtschaft nöthig hätte.

Da man nicht unmittelbar zu beobachten vermag, was beim Act des Ueberführens selbst vor sich geht, weil die fortgeführten Substanzen immer während ihres Ueberganges unsichtbar sind, so muß man in den Endresultaten dieser Erscheinung die Bedingungen aufsuchen, von welchen dieselbe abhängt oder modificirt wird, und hieraus charakteristische Andeutungen für die Art des Hergangs dabei zu ziehen suchen. Leider sind diese Resultate meist chemische Effecte, deren Entstehungsart sich eben so wenig beobachten läßt, und die nur, nachdem sie entstanden sind, von uns wahrgenommen werden. Indeß, obwohl unsre Unwissenheit hinsichtlich der Bedingungen, von welchen diese Effecte abhängen, und über die besondern Umstände, unter denen sie erfolgen, ihren Gebrauch als Charaktere mißlich und die Herleitung einer vollkommnen Analyse der, sie hervorrufenden, elektrischen Einflüsse daraus selbst geradezu unmöglich macht, so wird doch dadurch noch die Nothwendigkeit erhöht, diese Analyse schon jetzt so weit, als die bisherigen Data zulassen, zu treiben; denn nur, indem man das Gewisse vom Wahrscheinlichen und dem, was noch ganz im Dunkel liegt, scheidet, erhält man eine klare Einsicht, wo noch Schwierigkeiten aufzulösen sind, wo noch Lücken ausgefüllt werden müssen, um den Bau der Wissenschaft vollständig zu machen, und welches mithin die Puncte sind, auf welche neue Forschungen gerichtet werden müssen, sollen sie anders fruchtbar und von wahrem Nutzen seyn.

Das erste, was bei einer solchen Analyse in Betracht kommt, ist der elektrische Zustand der flüssigen Mittel, welche zwischen die Pole der Säule gebracht sind, um als Leiter für die Fortpflanzung der El. zu dienen. Dieser Zustand nun wird durch einen Versuch Volta's bemerklich gemacht, der darin besteht, die Pole der Säule durch eine Flüssigkeit von so unvollkommnem Leitungsvermögen in Verbindung zu setzen, daß bemerkbare Unterschiede in der Ladung ihrer verschiednen Theile eintreten. Dieser Zweck wird z. B. vollkommen durch Anwendung eines langen, mit reinem Wasser getränkten, Papierstreifen erreicht. Nachdem mittelst desselben die Verbindung zwischen den beiden Polen der Säule einige Augenblicke hindurch bewerkstelligt worden ist, berühre man ihn successiv an verschiednen Stellen mit einem, mit dem Condensator verbundnen, Elektroskop, um seinen elektrischen Zustand zu prüfen. Man wird finden, daß, wenn die Säule isolirt ist, jede Hälfte des Streifens sich mit der Art El. geladen hat, welche dem Pol, mit dem sie zunächst in Verbindung steht, zugehört; die eine Hälfte zeigt sich positiv, die andere negativ; und die Intensität dieser Ladungen nimmt von jedem Pole bis zur Mitte des Streifens ab, welche sich in neutralem Zustande befindet, wenigstens unter der Voraussetzung, daß das Leitungsvermögen in der ganzen Länge des Streifens gleich ist; denn allerdings, wenn man das Ausströmen der El. an einer Hälfte vorzugsweise vor der andern erleichtert, indem man z. B. einige Tropfen einer Salzauflösung, welche besser als reines Wasser leitet, darauf bringt, so wird die elektrische Ladung dieser Hälfte in gleichen Abständen vom Pole stärker seyn, als die der andern, und der neutrale Punct sich mehr dem entgegengesetzten Pole nähern. Steht die Säule, anstatt isolirt zu seyn, durch einen ihrer Pole mit dem Boden in Verbindung, so fällt der neutrale Punct an diesen Pol selbst und der ganze übrige Theil des Streifens zeigt mit einer, nach dem isolirten Pol hin progressiv zunehmenden, Stärke der Ladung blos die El., die dieser besitzt.

Hier, wie im vorigen Fall, muß das Gesetz, nach welchem die progressive Abnahme der Ladungen von einem Pole zum andern erfolgt, von dem größern oder geringern Leitungsvermögen der Flüssigkeit, mit welcher der Streifen befeuchtet ist, und der mehr oder minder beträchtlichen Ausdehnung der Oberfläche, über welche sie verbreitet ist, abhängen. Die Art aber, nach welcher der Abfluß beider Elektricitäten und ihre wechselseitige Neutralisation vor sich geht, muß ihren allgemeinen Umständen nach sich jedenfalls gleich bleiben, da sie blos einen einfachen Fall der gewöhnlichen Gesetze darstellt, welche die El. befolgt, wenn sie sich über Leiter vertheilt, die sie unvollkommen fortpflanzen. Dem muß also auch so seyn, wenn beide

Pole der Säule, anstatt durch einen einzigen Streifen Feuchtigkeit, durch eine unendliche Menge solcher Streifen in Verbindung stehn, die zu einer einzigen flüssigen Masse vereinigt und mit Elektricitätsmengen geladen sind, welche im Verhältniß zu dem Leitungsvermögen der Flüssigkeit so schwach sind, daß sie nicht schnell durch dieselbe fortgepflanzt zu werden vermögen. Dann läßt sich jede flüssige Linie, die an einem Puncte des positiven Drahts anfängt und an einem Puncte des negativen endet, als ein unvollkommener Leiter betrachten, auf welchen Alles, was wir in Bezug auf den elektrischen Zustand des Streifens ausgemittelt hatten, anwendbar ist, abgerechnet die Modificationen, die hinsichtlich der mehr oder minder schnellen Abnahme der Intensitäten noch in Betracht kommen; bei der Strömung der einen so wie der andern El. längs jeder solcher Linie müssen nämlich Unterschiede in der Geschwindigkeit und Ladung eintreten, abhängig von der Länge der Linien, ihrem Leitungsvermögen, welches ungleich seyn kann, und auch ihrer Lage, sowohl in Bezug zu einander, als zu den Metalldrähten, durch deren Berührung ihnen die El. mitgetheilt wird. Die, zwischen beide Pole gebrachte, Flüssigkeitsmasse findet sich so in einem elektrischen Zustande, ähnlich dem der Atmosphäre, d. h. sie stellt ein ununterbrochenes Mittel dar, innerlich durchdrungen mit freier El., welche wegen Unvollkommenheit des Leitungsvermögens nicht daraus entweichen, und eben so wenig sich gleichförmig darin verbreiten kann, weil ein beständiges Nachströmen aus der, sie entbindenden, Quelle Statt findet. Nun findet man in der Atmosphäre, wenn sie ruhig und rein ist, immer blos die nämliche Art freier El. in allen Höhen über dem Boden; wovon das Analoge bei dem feuchten Streifen, wenn die Säule durch einen ihrer Pole mit dem Boden in Verbindung steht, Statt hat, dagegen bei Isolirung der Säule beide Arten freier El. an verschiednen Stellen des unvollkommen leitenden Mittels, durch welches die Pole in Verbindung stehen, gefunden werden. Die Analogie, durch welche ich vom Fall eines einfachen Streifens zu dem einer flüssigen Masse fortgeschritten bin, läßt sich nicht unmittelbar, oder wenigstens nicht ohne ganz besondre Vorsichtsmaßregeln durch Anwendung des Elektroskops bewähren. Die Menge der Berührungspuncte der Flüssigkeit mit den Medalldrähten, und vielleicht auch die vor sich gehenden chemischen Zersetzungen absorbiren die, an jedem Pol entwickelte, El. so schnell und schwächen ihre Repulsivkraft so bedeutend, daß der Condensator keine merkliche Ladung mehr dadurch erhält. Indeß können die chemischen Erscheinungen die Stelle dieser Anzeigen vertreten. Man nehme z. B. vier, in Gestalt eines V gebogene, Glasröhren A, B, C, D, fülle sie mit einem neutralen Braunkohlaufguß, stelle sie in eine

Reihe, bewerkstellige ihre Verbindung unter einander durch einige, mit ihren Enden in die Flüssigkeit tauchende, Asbest- oder Baumwollenfäden, und leite in die äußersten Glieder der Kette, A und D die beiden Verbindungsdrähte einer Voltaischen Säule. Nach einiger Zeit wird die Flüssigkeit der beiden Heberröhren A, B, welche sich zur Seite des positiven Pols befinden, roth, die der Röhren C, D, welche zunächst mit dem negativen Pol in Verbindung stehen, grün geworden seyn; und diese Farbenveränderungen werden von den äußersten Schenkeln nach dem mittlern hin fortschreiten. Eine solche Abänderung der Erscheinungen in den verschiedenen Theilen eines und desselben, vom elektrischen Strom durchstrichenen, Mittels, giebt wohl den vollgültigen Beweis, daß keine gleichförmige Vertheilung der El. darin Statt findet.

Diese ungleiche Vertheilung der El. giebt den Schlüssel zu einer Erscheinung, die meines Wissens bisher noch von Niemand erklärt worden ist, obwohl man sie mit Recht als eine der merkwürdigsten, welche der Voltaische Apparat darbietet, betrachtet hat. Sie besteht darin, daß ein Draht, den man in dem, zur Leitung dienenden, Mittel mehr oder minder genau in der Richtung des elektrischen Stroms schwebend erhält, bald an jedem seiner Enden eine El. zeigt, welche der entgegengesetzt ist, die der Pol, nach dem das Ende hinsieht, besitzt; und man beobachtet dann an diesen beiden Enden alle die chemischen Erscheinungen, welche einerseits dem positiven, andrerseits dem negativen Pol zukommen. Man nehme z. B., wie beim vorigen Versuch, vier, mit einem neutralen Braunkohlaufguß gefüllte, Röhren, verbinde aber die Flüssigkeit in den Schenkeln, anstatt durch Asbest- oder Baumwollenfäden, durch Metalldrähte; nach kurzer Zeit wird man die Flüssigkeit um das, dem negativen Pol zugekehrte, Ende jedes Drahts geröthet, um das, dem positiven Pol zugekehrte, desselben Drahts gegrünt finden. Die Erklärung hievon ergiebt sich sehr leicht aus der Vertheilungsart, die unsern Erörterungen zufolge die El. in der Flüssigkeit hat. Wir wollen zuvörderst, g ößerer Einfachheit halber, annehmen, es werde nur ein einziger Draht, AB, Fig. 60, in die Flüssigkeit zwischen die Leitungsdrähte gebracht. Dieser nun findet sich den Einwirkungen zweier Elektricitäten von verschiedner Art und ungleicher Intensität ausgesetzt; die eine, P, wird durch den, zur Seite des positiven Pols der Säule, die andre, N, durch den, zur Seite des negativen Pols gelegenen, Theil der Flüssigkeit ausgeübt. Nun lehrt der bloße Anblick der Figur, daß diese beiden Wirkungen sich dahin vereinigen, die natürlichen Elektricitäten des Drahts zu zersetzen, und zwar sie nach derselben Richtung zu zersetzen, so, daß das, dem positiven Pol zugekehrte, Ende einen nega-

tiven, das dem negativen Pol zugekehrte, einen positiven Pol erhält. Gerade so sahen wir auch einen langen, vertikal in der Atmosphäre isolirten, Metalldraht, Pole darin annehmen, negativ an seinem obern, positiv an seinem untern Theile werden, blos vermöge der ungleichen Vertheilung der El. in der Luftmasse. Und eben so werden wir auch weiterhin sehen, daß ein Draht von weichem Eisen, an einen Magnetstab, parallel mit dessen Axe, gelegt, selbst zum Magnet unter dessen Einfluß wird. Weil nun jeder, in den Voltaischen Strom gebrachte, Metalldraht an seinen beiden Enden elektrische Zustände annimmt, die in Betreff der Art und der Dauer der El. denen ganz gleich sind, welche in jedem der, unmittelbar mit den beiden Polen der Säule selbst in Verbindung stehenden, Drähte, Statt finden; so bedarf es keiner weitern Erklärung, warum das nämliche Zersetzungsvermögen sich an denselben äußert, und warum jedes ihrer Enden Wirkungen der Art hervorbringt, wie sie immer durch die Art El., die es besitzt, hervorgebracht werden. Der nämliche Einfluß muß sich denn nun überhaupt auf jede Zahl Metalldrähte, die man hinter einander zwischen die Leitungsdrähte in den Voltaischen Strom bringt, äußern, nur wird die Intensität ihrer Ladung je nach ihrer Lage in der Flüssigkeit, die der Strom durchstreicht, verschieden ausfallen.

Hieraus wird noch keineswegs erklärlich, warum eine Zersetzung der chemischen Verbindungen unter dem Einfluß des Voltaischen Stroms erfolgt, oder, warum gewisse Substanzen, nachdem sie frei geworden, sich vorzugsweise nach dem positiven Pol begeben, während andre zum negativen gehen. Diese ausnehmend bemerkenswerthen Eigenthümlichkeiten hängen ohne Zweifel mit den allgemeinen Bedingungen zusammen, unter welchen die chemischen Verbindungen stehen, Bedingungen, die bis jetzt noch völlig für uns im Dunkel liegen; da wir noch nicht einmal genau anzugeben wissen, was denn eigentlich den Zustand chemischer Verbindung ausmache. Wird aber die Zersetzung eines Products einmal als geschehen angenommen, so reicht dann die ungleiche Vertheilung der beiden Elektricitäten in dem leitenden Mittel, wie wir sie anzunehmen genöthigt waren, vollkommen zur Erklärung der Erscheinung des Ueberführens hin. Dies zu zeigen, wollen wir von der Thatsache der Beobachtung ausgehen, daß ein solches Fortführen der Stoffe Statt hat, und z. B. ein Molecul einer Säure betrachten, das auf seinem Wege zum positiven Pol begriffen ist. Um nun dahin durch die, es umgebende Flüssigkeit geführt werden zu können, muß ihm in dem Augenblick, wo es sich aus seiner chemischen Verbindung trennte, eine Ladung der Art verliehen werden, die seinen Gang dem gemäß bestimmt und regulirt. Hiezu reicht hin, daß diese Ladung negativ sey, und stärker als die der nicht

zersetzten flüssigen Molecule, welche den negativen Leitungsdraht umgeben; denn dann wird das Säuretheilchen von dem, dem negativen Pol zunächst befindlichen, Theil der flüssigen Masse abgestoßen, und von dem, zur Seite des positiven befindlichen, angezogen werden. Wenn es also seinen Ueberschuß von El. nicht unmittelbar durch Mittheilung verliert, was bei der ausnehmenden Schwäche dieses Ueberschusses sehr möglich ist, so muß es, da der flüssige Zustand des Mittels, den es selbst theilt, seinen Bewegungen in demselben vollkommene Freiheit läßt, den fortführenden Kräften, durch die es sollicitirt wird, folgen; und indem es immer auf der Richtung fortgeht, nach der es durch die Gesammtheit dieser Kräfte getrieben wird, endlich am positiven Draht anlangen, wo es die negative El., die es besitzt, abgiebt, um sich mit dem Grade positiver El. zu laden, welcher den, in diesem Theile der flüssigen Masse gelegenen, Moleculen zukommt. Hier nun sieht man denn gewöhnlich neue chemische Wirkungen zum Vorschein kommen, denen entgegengesetzt, welche man am negativen Pol beobachtet. Gasförmige Producte werden entbunden, neue Verbindungen bilden sich; diese Erscheinungen jedoch, eben so wenig erklärlich als die ersten, liegen außer dem Gebiete der Physik.

Einige hieher gehörige Resultate kann ich jedoch nicht mit Stillschweigen übergehen, welche auf Bedingungen hinzuweisen scheinen, an welche die Möglichkeit der chemischen Verbindungen im Allgemeinen gebunden seyn mag. Man hat gefunden, daß eine Säure nicht durch ein Alkali durchgeführt werden kann, mit welchem sie ein unauflösliches Salz bildet. Sollte dies nicht eine Verallgemeinerung (une extension) des Einflusses seyn, den die Berührung fester Körper überhaupt auf die Bildung oder Zersetzung gewisser Producte äußert?*) Man weiß, daß das Wasser in einem Glasgefäß erst bei einer höhern Temperatur kocht, als in einem Metallgefäß; eben so verzögert die Berührung von Glasstücken die Entwicklung seiner Dämpfe, dagegen die Berührung einiger Metallpartikeln sie auf der Stelle hervorruft. Wenn ein, mit spitzen Rauhigkeiten versehenes, Metallstück in eine, mit einem Gas gesättigte, Auflösung getaucht wird, so erfolgt im Allgemeinen die reichlichste Gasentbindung an den Spitzen. Ist das Wasser mit mehrern hundert Malen seines Volumens Sauerstoff eine Verbindung eingegangen, die es Thénard zu bewerkstelligen geglückt ist, so reicht die bloße Berührung eines Metalls hin, das Band zwischen beiden aufzuheben. Sollte es nicht in Folge die-

*) Ich gestehe, keine ganz klare Beziehung zwischen diesem Einflusse und dem erwähnten Resultat auffinden zu können, die beide als besondre Fälle eines allgemeinern Gesetzes darstellte.

ser allgemeinen Eigenschaft seyn, daß die beiden Pole der Säule die Verbindungen und Entbindungen der Substanzen hervorrufen, mit welchen sie in Berührung treten? Und sollte nicht diese Eigenschaft von dem Vermögen abhängen, welches sie vermöge ihrer Beschaffenheit besitzen, die El. schnell zu entziehen und mitzutheilen? Ließe sich nicht annehmen, daß die gehemmte Fortführung in dem Fall, wo eine unauflösliche Verbindung während des Uebergangs der einen Substanz gebildet wird, auch von der nämlichen Ursach abhienge, von dem gewaltsamen Freiwerden (dégagement) der El., womit sich diese Substanz geladen hatte? Und sollte nicht endlich die Erscheinung, daß diese El. die Substanzen hindert, Verbindungen einzugehen, bei denen sie nicht frei werden würde, darin ihren Grund haben, daß ihre Abstoßung gegen die gleichartige El., womit das Mittel, das sie durchstreicht, geladen ist, verbunden mit der Kraft, welche sie von dem einen Pole entfernt und dem andern nähert, sie hindert, mit den Theilchen des Mittels in eine hinlänglich innige Berührung zu treten, um mit ihnen eine Verbindung einzugehen? Eine erfahrungsgemäße Untersuchung dieser verschiednen Fragen würde den Gegenstand einer sehr interessanten Arbeit abgeben.*)

Bei vergleichender Betrachtung der Wirkungen, die eine und die nämliche Substanz in der Menge von Verbindungen, in die man sie eingehn lassen kann, unter dem Einfluß des Voltaischen Stroms erfährt, erkennt man im Allgemeinen ein Streben derselben, sich nach dem einen oder dem andern Pole der Säule zu begeben, und mithin sich mit der einen oder der andern El. zu laden. Diese Bemerkung ist so gegründet, daß man in einer unendlichen Menge von Fällen zum Voraus daraus ableiten kann, ob die Zersetzung eines Products leicht oder schwer ist, und nach welcher Richtung sie Statt haben, d. h. nach welchem Pole hin jedes der getrennten Elemente seinen Weg nehmen wird. Dies hat die Chemiker auf die, nicht unwahrscheinliche, Vermuthung geführt, daß die, vom Voltaischen Strom bewirkten, Zersetzungen von diesem Streben selbst abhängen, welches, in den Elementen der chemischen Verbindung nach entgegengesetzter Richtung auftretend, die einen nach dem positiven die andern nach dem negativen Pol der Säule hin sollicitirt und ihre Trennung bewerkstelligt, um sie diese verschiednen Richtungen annehmen zu lassen, wofern es stark genug ist, um die, sie verbindende Verwandtschaft, zu überwältigen. Man könnte hinzusetzen, daß die Entgegensetzung des

---

*) Es wäre nur zu diesem Behuf zu wünschen, daß Biot die Fragen etwas deutlicher gestellt hätte; indem sie im Original eben so unklar sind, als sie vielleicht in der Uebersetzung scheinen werden.

el. Zustandes vielleicht zur Trennung noch auf eine andre Weise wirkt, als durch das mechanische Bestreben, welches nach jedem Pole hin hieraus hervorgeht, z. B. dadurch, daß sie irgend ein Verhältniß aufhebt, welches zwischen den el. Ladungen eines Products bestehen muß, damit die Stoffe, aus denen es zusammengesetzt ist, in ihrem Aggregatzustande verbleiben können; denn da wir die Noelle nicht kennen, welche die El. in den Beziehungen der kleinsten Theilchen der Körper zu einander spielt, so müssen wir uns hüten, ihrer Wirksamkeit in dieser Hinsicht vorgreifend Gränzen stecken zu wollen. Jedenfalls wird aber bei dieser Ansicht des Zersetzungsvermögens des Voltaischen Stroms, die Möglichkeit dieser Erscheinung im Allgemeinen von drei Bedingungen abhängen müssen: 1) von der mehr oder minder starken Neigung (disposition), welche die Grundbestandtheile des Products haben, in jedem ihrer Theilchen entgegengesetzt el. Zustände anzunehmen; 2) von der größern oder geringern Stärke dieses Gegensatzes; 3) endlich von dem Verhältniß dieser Stärke zu der Kraft der chemischen Verwandtschaft, in welcher die Bestandtheile zu einander stehen. Hat man es z. B. mit einem Körper zu thun, dessen Bestandtheile leicht in einen sehr entgegengesetzten el. Zustand gerathen, so wird die Säule eine Zersetzung desselben bewirken können, ungeachtet die, seine Bestandtheile vereinigende, chemische Verwandtschaft sehr mächtig ist. Ist umgekehrt die Verwandtschaft sehr schwach, haben aber die Bestandtheile der Körper zugleich ein sehr geringes Bestreben, sich in entgegengesetzt el. Zustände zu setzen, so wird es sehr möglich seyn, daß keine Zersetzung erfolgt. So wie endlich bei der Reibung der Körper aneinander der Fall eintritt, daß die nämlichen Substanzen, je nach der Art des Reibzeugs, mit dem sie gerieben werden, bald die positive, bald die negative El. annehmen, so wird es auch geschehen können, daß der nämliche chemische Bestandtheil, je nach den Verbindungen, in die er eingeht, bald positiv, bald negativ wird*); und obwohl im Allgemeinen jeder Bestandtheil in alle Verbindungen, in die er eingehen mag, die nämliche, ihm von Natur ursprünglich zukommende, Disposition (relative Neigung, positiv oder negativ zu werden) mit hinübernehmen muß, so wird doch das Endresultat (ob er wirklich das eine oder das andre wird) auch mit davon abhängen, welche analoge oder verschiedne Dispositionen die Bestandtheile, mit denen er zusammentritt, besitzen. In allen, bisher mit dem Voltaischen Apparate angestellten, Versuchen scheint der

---

*) So zeigt sich der Wasserstoff im Wasser elektropositiv, in allen Wasserstoffsäuern elektronegativ.

Sauerstoff diese Disposition zum negativen Zustande behauptet zu haben, die er bei der Wasserzersetzung bemerken läßt, und die man eben so auch bei den, mit der gewöhnlichen El. angestellten, Versuchen wahrnimmt, wo der Sauerstoff der Luft sich stets nach den positiv elektrisirten Flächen hinbegiebt. Ja sogar, wenn die Körper aus mehrern Bestandtheilen zusammengesetzt waren, (Salze), deren einige eine starke Verwandtschaft zum Sauerstoff besaßen, so fanden wir, daß dieser ihnen seine negative Disposition mittheilte und sie (die Säuern) mit sich nach dem negativen Pol hinzog, wogegen die andern Bestandtheile (die Basen) alsdann positiv wurden und sich nach dem negativen Pol begaben. Vermöge dieses Gesetzes hat man denn die Zersetzung aller Oxyde und der Säuern, welche Sauerstoff enthalten, durch den Voltaischen Strom zu bewirken vermocht; wobei sich der, mit dem Sauerstoff verbundne, Bestandtheil nach dem negativen Pol begab, während der Sauerstoff, seiner standhaft festgehaltnen Disposition folgend, nach dem positiven Pol ging. Diese schönen Beobachtungen wurden, wie schon erwähnt, zuerst von Hisinger und Berzelius gemacht. Davy wurde durch Abänderung und Erweiterung derselben darauf geleitet, die Wirkung des Voltaischen Apparats auf die Alkalien zu versuchen, die man bis dahin als einfache Stoffe betrachtet hatte. Er sah hier, und machte dadurch das Erstaunen des ganzen gelehrten Europa rege, daß sich Sauerstoffbläschen am positiven Pol entbanden, während sich am negativen glänzende Stoffe von metallischem Aussehn, aber großer Leichtigkeit, ansammelten, welche an der Luft mit Lebhaftigkeit verbrannten, ja selbst die merkwürdige Eigenthümlichkeit zeigten, sich im Wasser zu entzünden (durch Bemächtigung seines Sauerstoffs). Es waren dies die metallischen Grundlagen des Natrons und Kali's, die seitdem unter dem Namen Sodium oder Natronium und Potassium oder Kalium bekannt sind. Allein die erwähnten Eigenschaften machten, daß sich nur sehr kleine Massen derselben erhalten ließen, die, so wie sie gebildet waren, an der Luft wieder zu Grunde gingen. Man mußte mithin ein Mittel suchen, sie vor dem Zutritt der, sie verzehrenden, Luft zu schützen. Der Dr. Seebeck erfand in dieser Hinsicht ein sehr einfach zum Zweck führendes, welches darin besteht, das Natronium oder Kalium so wie es sich entbindet, mit Quecksilber zu amalgamiren. Man höhlt in ein kleines Stück Natron- oder Kalihydrat eine Vertiefung aus, füllt diese mit Quecksilber, legt das Stück auf eine Metallplatte, und läßt in das Quecksiler den negativen Draht eines Voltaischen Apparats von wenigstens zweihundert Plattenpaaren tauchen, während der andere Leitungsdraht mit der metallnen Unterlage in Verbindung gesetzt wird. Das Natron oder Kali wird nun zersetzt, zu-

gleich mit dem, darin enthaltenen, Wasser; der Sauerstoff des Alkali's so wie des Wassers begiebt sich nach dem positiven Pol, wohin ihn sein el. Zustand führt; der Wasserstoff und das Natronium oder Kalium dagegen, die aus der Verbindung mit jenen geschieden sind, gehen zum negativen Pol. Hier entweicht der Wasserstoff in Gasgestalt, das Natronium oder Kalium aber verbindet sich mit dem Queckſilber und wird so vor der Einwirkung der Luft geschützt. Das gewonnene Amalgam schüttet man von Zeit zu Zeit in Steinöl und erneuert das Queckſilber. Hat man eine gewisse Quantität Amalgam gesammelt, so destillire man es mit so wenig Luft als möglich in einer Retorte. Das Oel geht zuerst über und dann das Queckſilber, worauf das Natronium oder Kalium frei zurückbleibt. Soll die Zersetzung des Kali's und Natrons durch das hier beschriebene Verfahren gelingen, so müssen dieselben eine hinlängliche Menge Wassers enthalten, um die El. der Säule durchzuleiten, jedoch nicht so viel, daß die ganze durchgeleitete El. zur Zersetzung desselben verwandt wird; weil in diesem Fall das Kali und Natrum unzersetzt bleiben würden. Davy und Seebeck haben durch solche Verfahrungsarten auch in den übrigen Alkalien unzweideutige Spuren der Zersetzung wahrgenommen. Jedoch erlaubt der Plan dieses Lehrbuchs nicht, mich ausführlicher hierüber zu verbreiten. Ich füge blos hinzu, daß es nach der Entdeckung Davy's über die Zusammensetzung des Kali's und Natron's Gay-Lussac und Thénard geglückt ist, diesen Substanzen den Sauerstoff blos durch Wirkung chemischer Verwandtschaften zu entziehen (durch Glühen in eisernem Flintenlauf).

Bisher haben wir blos die zersetzenden Wirkungen der Säule betrachtet, allein es kommen ihr auch noch andre sehr merkwürdige zu. Nimmt man z. B. ganz feine Metalldrähte als Schließungsdrähte, und nähert sie einander allmälig bis zur Berührung, so tritt eine Anziehung zwischen ihnen ein, die sie ungeachtet ihrer elastischen Gegenwirkung an einander fest hält. Sind diese Drähte von Eisen, so springt ein sichtbarer Funken zwischen ihnen über, der, wie wir sogleich sehen werden, eine wahre Verbrennung des Eisens hervorruft. Mit größter Sicherheit gelingt dieser Versuch, wenn man das Ende eines der Eisendrähte mit einem leichten Goldblatt armirt. Dies wird an der Stelle, wo der Funke überspringt, verzehrt. Man kann durch diesen Funken die Entzündung von Knallgas und selbst von Phosphor und Schwefel, wie durch die Funken unsrer gewöhnlichen Elektrisirmaschinen, bewerkstelligen.

Hier ist nur die Rede von den Wirkungen, die sich durch die gewöhnlichsten Säulen erhalten lassen, deren Scheiben ungefähr den Umfang eines Fünffrankenstücks haben. Begreiflich müssen diese Wirkun-

gen in einem weit beträchtlicheren Grade auftreten, wenn man Platten von größerer Oberfläche in derselben Anzahl anwendet; denn in den Säulen, wo die Zahl der Elemente und die Beschaffenheit der flüssigen Leiter sich gleich verhalten, ist auch die Dicke der el. Schicht auf allen Platten von gleicher Stelle die nämliche, wie die Theorie anzeigt, und die Erfahrung uns weiter oben bestätigt hat. Es ergiebt sich daraus, daß die Totalquantitäten El., welche diese Säulen im Zustande des Gleichgewichts besitzen, genau den Oberflächen der Platten proportional sind; ein Verhältniß welches auch noch dann Statt findet, wenn bei geschlossenem Kreise die El. sich in Strömung befindet, wenigstens unter der Voraussetzung, daß das Leitungsvermögen des feuchten Zwischenleiters in den verglichenen Säulen das nämliche ist, und daß dieser Leiter, so wie die Oberflächen der Platten, im Laufe des Versuchs nur gleiche Veränderungen erfahren. Wirklich haben auch Gay-Lussac und Thénard gefunden, daß die, in einer gegebenen Zeit entbundenen, Gasmengen den Oberflächen der verglichenen Platten, oder, was auf das Nämliche hinauskommt, den Totalquantitäten der darauf angesammelten El. proportional sind. Das nämliche Verhältniß in der Verstärkung der Wirkung wird auch bei allen andern chemischen Effecten beobachtet. Eine Säule aus Platten mit großer Oberfläche vermag, wenn sie auch nur aus wenig Paaren besteht, mehrere Centimeter Eisendraht zu entzünden. Diese Erscheinung wurde zum erstenmal von Hachette und Thénard beobachtet, und ist von den englischen Physikern auf den höchsten Grad der Stärke gebracht worden, indem sie dem Voltaischen Apparat die, im folgenden Capitel zu beschreibende, vortheilhafteste Einrichtung gaben, und mit der Größe der Platten zugleich deren Zahl vergrößerten.

Mit einem solchen Apparate lassen sich lange Drähte von Eisen, Platin oder irgend andern Metallen so weit erhitzen, daß sie nicht nur ins Glühen kommen, sondern sich sogar in geschmolzne Kügelchen zertheilen; und leitet man sie einem Theile nach durch Flüssigkeiten, so können diese bis zum Sieden erhitzt werden. Nimmt man, anstatt Metalldrähte, dünne Metallblätter, die durch den Hammer oder das Streckwerk getrieben worden sind, so entzünden sie sich, und brennen, je nach ihrer Beschaffenheit mit verschieden gefärbter Flamme.*) Die

---

*) Diese Versuche lassen sich am besten so anstellen, daß man an einen gebogenen Draht des einen Pols der Batterie die Metallblättchen anhängt und nun mit ihnen eine breite vergoldete Metallplatte, die mit dem entgegengesetzten Pol verbunden ist, berührt. Goldblätter brennen mit einem lebhaft weißen, blau nuancirten, Lichte und bringen ein dunkelbraunes Oxyd hervor. Silberblätter senden ein brillantes smaragdgrünes Licht aus, und lassen ein

Funken, welche hier zwischen den Blättern oder den Leitungsdrähten entstehn, wenn man sie einander fast bis zur Berührung nähert, sind so stark, daß sie selbst im Wasser sichtbar werden. Alle diese Wirkungen aber werden an Merkwürdigkeit von der Erscheinung übertroffen, welche sich darbietet, wenn man die Leitungsdrähte in vollkommen getrocknete Kohlenspitzen ausgehen läßt. Als dies bei einem großen Apparate, in dessen Besitz das königliche Institut zu London ist, und der aus zweitausend quadratischen Ptattenpaaren, jedes von vier Zoll Seite, besteht, vorgenommen wurde, fieng der el. Funke an, von einer Kohlenspitze zur andern bei einem Abstand derselben von ungefähr $\frac{1}{15}$ Zoll überzuspringen. Bald darauf aber, als erst die beiden Spitzen stärker glühten, konnte man sie bis auf vier Zoll von einander entfernen, ohne daß diese Erscheinung unterbrochen wurde. Die Fortdauer der el. Entladungen brachte hier zwischen beiden Spitzen einen anhaltenden, bogenförmig gekrümmten, Lichtstrom hervor, der jede andre Flamme an Glanz übertraf, und von so intensiver Hitze begleitet war, daß selbst die sonst schwerflüssigsten Körper darin schmolzen. Diamantstücke und Reisbleispitzen verschwanden und schienen ohne einen Anschein von Schmelzen zu verdunsten. Dicke Platindrähte zerschmolzen schnell in große Kügelchen; Sapphir, Quarz, Talk und Kalk kamen in offenbaren Fluß. Diese Wirkungen erfolgten selbst, und zwar mit noch größerer Stärke, wenn die Kohlenspitzen sich in einer, durch die Luftpumpe verdünnten, Luft befanden. Dann fuhr der Lichtstrom fort zwischen beiden Spitzen in einem Abstand von 6 Zoll zu spielen, und man konnte ihn ganze Stunden so fortdauern lassen, ohne daß die Kohle sich um eine merkliche Quantität vermindert fand.

Für den Grund, warum im luftverdünnten Raum und im Verfolg des Versuchs die Entladung auf eine größere Weite Statt hat, ist mit vieler Wahrscheinlichkeit folgender anzugeben: Die erste, zwischen den Spitzen erfolgende, Entladung muß die Luft- oder Dunstschicht, die sich zwischen den Kohlenspitzen befindet, durchbrechen, und kann deshalb nur auf eine kleine Weite Statt finden, ist sie aber einmal eingetreten, und hat sie durch ihre Repulsivkraft die Theilchen des umgebenden Mittels aus dem Wege entfernt, so finden die, der ersten ohne Unterbrechung nachfolgenden, Entladungen, da sie nach derselben Richtung vor sich gehen, ihren Weg offen, indem sie denjel-

---

dunkelgrünes Oxyd zurück. Kupfer bewirkt ein bläulichweißes Licht, begleitet von rothen Funken; sein Oxyd ist dunkelbraun. Zinn giebt fast dieselben Erscheinungen; sein Oxyd ist aber von lichter Farbe. Bley brennt mit einem schönen Purpurlicht, und Zink mit einem glänzend weißen, das ins Blaue fällt und das mit Roth eingefaßt ist. (Singers El. S. 254).

ben blos noch durch eine verdünnte Luft, oder selbst vielleicht einen fast ganz leeren Raum zu nehmen haben, den sie dann nur sich frei zu erhalten brauchen; was eine Entladung auf größere Weite verstattet.

Diese fortdauernde Entwicklung von Licht und das analoge Freiwerden desselben, welches an den Metalldrähten beobachtet wird, wenn der Voltaische Strom durch sie hindurch geht, sind ausnehmend merkwürdige Erscheinungen: und dies um so mehr, da das Glühen von Metalldrähten, wenn sie in den leeren Raum oder in Gasarten gebracht werden, mit denen sie keine Verbindung eingehn können, ganze Stunden fortdauern und beliebig wieder hervorgerufen werden kann, ohne daß sie das Geringste an Gewicht verlieren. Es ist ausnehmend schwer, um nicht zu sagen unmöglich, die Entstehungsart dieser Lichterscheinung und Erhitzung unter solchen Umständen anzugeben. Soll man sie von Zusammendrückung der Substanzen herleiten, auf welche die El. wirkt? dann aber scheint es, als ob, weil der Strom anhaltend fortgeht, der Druck blos ein für allemal zu Anfange des Versuchs ausgeübt werden müßte; und somit könnte man ihm höchstens das erste Hervorbrechen des Lichts, keineswegs aber seine fernere Dauer beimessen. Sollten wohl die beiden el. Principe unmittelbar durch ihr Zusammentreffen Licht erzeugen? Wir kennen keine Erscheinung, welche diese Annahme ins Reich der Unmöglichkeiten oder auch nur der Unwahrscheinlichkeiten verwiese. Folgender Versuch scheint eine Bestätigung derselben zu geben. Wenn ein Trogapparat mit einer Salzauflösung oder einer, mit Wasser verdünnten, Säure gefüllt wird, so bemerkt man, daß seine chemische Wirkung in den ersten Augenblicken die größtmögliche Stärke hat, in sehr kurzer Zeit aber schnell abnimmt, so daß sie nach einigen Stunden ganz schwach oder selbst unmerklich wird. Bald wird sich uns die Ursach dieser Schwächung ergeben; hier führe ich sie nur als Thatsache an.

Verbindet man nun, wenn der Apparat noch in der ersten vollen Wirksamkeit ist, seine beiden Pole mit der größten Drahtlänge, die er bei einer gegebenen Dicke zum Glühen bringen kann, so wird man finden, daß er bald nachher nur eine geringere Länge zum Glühen bringt, und so immer weniger, bis ein Eisendraht von derselben Dicke, wie kurz man ihn immer nehmen mag, den Apparat ganz ohne Lichterscheinung vollständig entladet. Gesetzt nun, daß man, anstatt den verbindenden Eisendraht so successiv zu verkürzen, ihm immer seine erste Länge läßt, so wird man finden, daß der immer kleiner werdende Theil, welcher noch glüht, sich in der Mitte dieser Länge befindet, und daß der glühende Punct, der sich noch zeigt, wenn die letzte Möglichkeit des Glühens vorhanden ist, genau die Mitte dieses Leitungs-

drahtes einnimmt, wo die Vereinigung der beiden el. Principe in der That am reichlichsten vor sich gehn zu müssen scheint.

Immer setzten wir im Vorigen voraus, daß ein Voltaischer Apparat aus einer mehr oder minder beträchtlichen Anzahl von Plattenpaaren angewandt wurde; man kann jedoch Drähte auch durch ein einziges Plattenpaar zum Glühen bringen, wenn man ihnen im Verhältniß zur Größe der Oberflächen des Plattenpaars eine sehr geringe Dicke und Länge giebt. Man nehme z. B. eine Zinkplatte ZZ, Fig. 61, von rechteckiger Gestalt, die fünf bis sechs Centimeter in der Breite auf zehn in der Länge hält. Um diese schlage man ein Kupferblatt CC, und halte beide durch Wülste von Harz R, R aus einander, so daß der Zink das Kupfer nirgends berührt. Die Zinkplatte hat an einer Seite einen, gleichfalls aus Zink bestehenden, Anhang m, an welchem, parallel mit seiner Längenrichtung, ein kupferner Arm t befestigt ist; ein, gleichfalls kupferner, Stab t', an der äußern Oberfläche der Kupferplatte befestigt, erhebt sich in einer, auf den Arm t senkrechten, Richtung, so daß die Enden beider ungefähr einen Centimeter von einander entfernt sind. Man vereinigt diese Enden durch einen Platindraht f von der Länge des Abstands und ungefähr $\frac{1}{10}$ Millimeter Dicke. Diese Verbindung bildet offenbar ein Voltaisches Plattenpaar, dessen eines Element die Zinkplatte ist, das andre das System des Kupferarms t, des Platindrahts f, des Stabs t' und endlich der großen Kupferplatte C. Die Elektricitätserregung findet in der Berührungsstelle des Arms t mit dem Anhang m Statt. Gesetzt nun der ganze Apparat werde mittelst eines, an diesem Anhang befestigten, isolirenden Schaftes aufgehangen, so stehen der Zink und das Kupfer nur durch ihre Berührungsfläche in mt in Verbindung, mithin wird der Kreis nicht geschlossen seyn, und keine Strömung der El. Statt haben. Dies zu bewerkstelligen, braucht man jedoch nur zwischen die großen Platten C und Z einen feuchten Leiter, z. B. eine Salzauflösung, oder besser noch, eine Mischung aus einem Volumtheil Salpetersäure, einem Schwefelsäure und 50 bis 60 Wasser zu bringen. Wirklich, wenn man die großen Platten mit einem Theile ihrer Oberfläche in eine solche Mischung taucht, sieht man sogleich in der leitenden Flüssigkeit ein lebhaftes Aufbrausen entstehen; und in wenig Augenblicken erhitzt sich der, zwischen t und t' gespannte, Draht bis zum Glühen; welches sehr lange fortdauern kann, zumal, wenn man dem flüssigen Leiter einen leichten Zutritt zur Zinkplatte verstattet, indem man Oeffnungen O, O', O'' in dem untern Theil der Kupferplatte anbringt; und hat es aufgehört, so kann man es wieder anfachen, wenn man die gebrauchte Flüssigkeit durch neue ersetzt. Wie leicht übrigens zu erachten haben die, hier für die ver-

bundnen Platten angegebenen, Dimensionen nichts Absolutes, sondern müssen nur in einem angemessenen Verhältniß zur Dicke und Länge des Drahts stehen, den man zum Glühen bringen will. Verkleinert man den Draht sehr bedeutend diesen beiden Dimensionen nach, so wird man ihn auch durch ein Plattenpaar von viel geringerm Umfang ins Glühen bringen können. Wollaston hat dies aufs Aeußerste getrieben, indem er als Verbindungsdraht einen der so ausnehmend feinen Platindrähte anwendet, die er durch das, S. 10 im ersten Buche beschriebene, Verfahren erhält. Hier braucht der Appavat nur aus sehr kleinen Kupfer- und Zinkplatten zu bestehen; und so wie man ihn in ein saures Gemisch taucht, wird der Draht durch sein Glühen sichtbar, da er sich vorher wegen seiner Feinheit dem Auge fast ganz entzog.

Bei diesem Versuch treten einige besondre Umstände auf, die dem ersten Anblick nach sich schwer mit der Vorstellung vereinigen lassen, daß die, dabei Statt findende, Elektricitätserregung von der bloßen Berührung der Metalle herrühre. Da die Erklärung dieser anscheinenden Anomalieen mit den Modificationen zusammenhängt, welche das mehr oder minder vollkommne Leitungsvermögen im Abfluß des el. Stromes hervorbringt, so wird sie am zweckmäßigsten ihre Stelle zu Ende des folgenden Capitels finden.

Achtzehntes Capitel.

Untersuchung der Veränderungen, welche im Voltaischen Apparate durch seine Reaction auf sich selbst hervorgebracht werden. Daraus hervorgehende Modificationen seines elektrischen Zustandes.

Die chemische Wirkung des Voltaischen Apparats äußert sich nicht blos am Ende der Drähte, welche die Verbindung seiner Pole bewerkstelligen, sondern hat selbst zwischen seinen metallischen Elementen Statt, indem der feuchte Leiter, durch den sie getrennt sind, hier die Stelle der Flüssigkeit, in welche die Drähte getaucht werden, vertritt. In Folge dessen treten im Innern des Apparats selbst beträchtliche Veränderungen ein, welche seinen el. Zustand modificiren, indem sie entweder die Bedingungen des Gleichgewichts bei der Berührung seiner Elemente, oder auch das Leitungsvermögen darin abändern.

Die erste Folge dieser Wirkung ist ein schnelles Verschlucken des Sauerstoffs der, den Apparat umgebenden, Luft. Ganz einfach kann man sich hievon überzeugen, indem man eine verticale Säule auf einen, mit Wasser umgebenen, Untersatz stellt und sie mit einer cylindrischen Glasglocke umgiebt, welche mit ihrer Basis ebenfalls ins Wasser taucht, Fig. 62. In wenig Augenblicken sieht man das Wasser im Innern der Glocke in die Höhe treten, besonders wenn man den Kreis durch Metalldrähte schließt; so daß ein Kreislauf der El. in der Säule Statt hat. Auch bei nicht geschlossenem Kreise findet Verschluckung Statt, jedoch weit langsamer. In allen Fällen hört nach einer kürzern oder längern Zeit, je nach der Größe der Säule und der Quantität der umgebenden Luft, die Verschluckung auf, und der Rückstand von Luft unter der Glocke zeigt keine Spur von Sauerstoffgas mehr. Diese Erscheinung wurde von Friedrich Cuvier und von mir in den ersten Zeiten nach Bekanntwerdung des Voltaischen Apparats in Frankreich entdeckt. Hiebei findet der bemerkenswerthe Umstand Statt, daß, so lange noch Verschluckung Statt hat, d. h. so lange noch nicht aller Sauerstoff verzehrt ist, auch die chemischen und physiologischen Wirkungen des Apparats fortdauern, obwohl mit abnehmender Stärke, und man daher, wenn man die Leitungsdrähte von beiden Polen in Glasröhren unter der Glocke hervorleitet, Wasserzersetzung dadurch bewirken, und Schläge ertheilen kann. Allein, wenn aller Sauerstoff der umgebenden Luft erschöpft ist, tritt ein vollkommener Stillstand aller Wirkungen ein. Wie sich leicht von selbst hieraus folgern läßt, ist die chemische und physiologische Wirksamkeit der nämlichen Säule weit kräftiger und dauernder, wenn sie in reinem Sauerstoffgas, als wenn sie in einem eben so großen Volumen atmosphärischer Luft eingeschlossen wird; ja sogar, wenn im letzten Fall die fortschreitende Verschluckung endlich blos noch eine Stickstoffatmosphäre um die Säule zurückgelassen hat, und die Wirkung derselben ganz erloschen scheint, reicht das Hinzulassen einer kleinen Sauerstoffmenge hin, sie wieder anzufachen.

Nimmt man eine Säule aus einander, die so mehrere Tage hindurch bei vollkommen geschlossenem Kreise unter einer, mit atmosphärischer Luft oder Sauerstoffgas gefüllten, Glocke in Wirkung erhalten worden ist, so findet man, daß die Metallscheiben, aus denen er besteht, an einander und an den dazwischen gelegten Tuchscheiben so fest haften, daß man sie nur mit vieler Mühe trennen kann. Nach geschehener Trennung findet man, daß die Säule eine chemische Reaction auf sich selbst geäußert, und in ihren eignen Elementen auffallende Veränderungen hervorgebracht hat. War die Säule so geschichtet, Zink, feuchter Leiter, Kupfer, Zink .... u. s. w., Fig. 63, und

stand sie auf ihrer Zinkgrundfläche, so wird man beständig finden, daß sich von jedem Zinkstück Zinktheilchen losgemacht, und an das Kupfer des darüber liegenden Plattenpaars begeben haben; und, sind Kupfer- und Zinkplatten jedes Paars blos über einandergelegt, so daß sie sich aus einander nehmen lassen, so findet man noch, daß Theilchen vom Kupfer jedes Plattenpaars sich an das darüberliegende Zink begeben haben, und so fort vom untern nach dem obern Theile der Säule. Ist die Säule auf die umgekehrte Art geschichtet, Kupfer, feuchter Leiter, Zink, Kupfer . . . u. s. w., Fig. 64, so steigt das Kupfer nach dem darunterliegenden Zink, und das Zink nach dem Kupfer vom obern nach dem untern Theile der Säule herab. Die Richtung des Fortführens in beiden Fällen ist in Bezug auf die Verticale entgegengesetzt; bleibt aber die nämliche in Bezug auf die Reihenfolge der Elemente, aus denen der Apparat besteht.

Bei dieser Anordnung ist der Zink genöthigt, um zum Kupfer zu gelangen, die feuchte Tuchscheibe, die ihn davon trennt, zu durchstreichen. Bei nicht geschlossenem Kreise erfolgt kein solcher Durchgang. Hier zeigt sich die Oberfläche des Kupfers glatt und die, ihr entgegenliegende, Zinkfläche blos mit kleinen schwarzen Fäden bedeckt, welche die Richtung der Tuchfäden haben. Ist der Kreis seit Kurzem geschlossen, so fangen einige Theilchen Zinkoxyd an, überzugehen und sich an das Kupfer zu begeben; so daß endlich, wenn die Wirkung stark ist, die ganze Oberfläche des letztern davon bedeckt wird. Dann hört die chemische Wirksamkeit der Säule auf, sey es, daß das, auf der einen Fläche des Kupfers abgesetzte, Zinkoxyd und der, die andre Fläche berührende, metallische Zink bei der Berührung gleichen elektromotorischen Einfluß äußern, oder auch, daß die Dazwischenkunft dieser Oxydschicht dem Durchgang der El. ein zu großes Hinderniß entgegensetzt; oder endlich, was am wahrscheinlichsten ist, daß diese beiden Wirkungen zugleich Statt haben.

Manchmal stellt sich das Zinkoxyd nach seinem Durchgange durch die Tuchscheibe am Kupfer in metallischem Zustand wieder her. Dann befinden sich die Theile des Kupferstücks, an welchen sich dasselbe abgesetzt hat, an ihren beiden Gegenflächen mit Zink in Berührung. An diesen Flächen findet mithin keine Ungleichheit des el. Zustandes mehr Statt; und so können sie nur nach Art neutraler Leiter noch in der Säule wirken; was jedoch nicht hindert, daß die Theile des Kupferstücks, welche vom übergeführten Zink nicht ganz überzogen sind, mit dem, sie an ihrer andern Oberfläche berührenden, Zinkstück in den allgemeinen Beziehungen des Gleichgewichts, welche bei der Berührung Statt haben, sich behaupten, und so die nämlichen Elektricitätsmengen als vorher entwickeln.

Da das Ueberführen in der Richtung vom Zink zum Kupfer durch die feuchten Leiter hindurch Statt hat, so geht das Kupfer zum Zink immer an den Flächen über, mit welchen sie sich unmittelbar berühren. Wenn hier das Kupfer an dem Zink haftet, so behält es seinen Metallglanz; manchmal bildet sich Messing. Dieses Wiederherstellen in metallischem Zustand hat nicht Statt, wenn der Kreis der Säule nicht geschlossen ist. Auch dürfen, wenn es erfolgen soll, die Tuchscheiben nicht zu dick, noch von zu dichtem Gewebe seyn.

Dies sind meines Wissens die ersten Erscheinungen eines Ueberführens, welche am Voltaischen Apparat beobachtet worden sind. Cuvier und ich haben sie bei Ankündigung der oben angeführten Versuche mit zur öffentlichen Kenntniß gebracht; ohne daß wir jedoch die allgemeine Anwendung derselben schon übersahen. Offenbar stimmt ihre Theorie ganz mit der der andern chemischen Zersetzungen überein, welche zwischen den Polen der Säule vor sich gehen. Jedoch findet sich hiebei der Unterschied, daß die, an diesen Polen befestigten, Leitungsdrähte den Flüssigkeiten, worein man sie tauchen läßt, Elektricitäten von entgegengesetzter Beschaffenheit, von einer Seite positive, von der andern negative, zuführen, während die Metallstücken, die sich im Voltaischen Apparat unmittelbar folgen, gleichartige elektrische Ladungen, nur von ungleicher Intensität, haben. Eine solche Ungleichheit, beständig sich erneuernd, wie es im Innern der Säule geschieht, reicht also hin, zwischen den einfachen Grundstoffen, aus denen die, zwischen den Plattenpaaren befindlichen, Leiter bestehen, so wie zwischen dem Stoff der Platten selbst, ein Streben zur Trennung hervorzurufen, gleich dem, welches durch die Ungleichartigkeit der Elektricitäten bedingt wird; und in der That muß der ungleiche Einfluß dieser Ladungen auf die Zwischenleiter eine Trennung der natürlichen Elektricitäten derselben zur Folge haben, welche die Umstände für beide Fälle ganz gleich macht. Sehr bemerkenswerth ist, daß diese Erscheinungen des Ueberführens im Innern der Säule vornämlich bei Apparaten aus Platten von ganz geringem Durchmesser merkbar werden. Die Reaction solcher Säulen auf sich selbst ist ohne Vergleich stärker und schneller als die der Säulen mit Scheiben von großer Oberfläche.

Nach gehöriger Ausmittlung aller dieser innern Veränderungen ist nun zu untersuchen, welchen Einfluß sie auf den el. Zustand und in Folge dessen auf die Andauer der chemischen Wirksamkeit des Voltaischen Apparats zu äußern vermögen.

Betrachten wir zuvörderst die Verschluckung des Sauerstoffs durch welche die chemische und physiologische Wirksamkeit des Apparats verstärkt wird. Es leuchtet ein, daß diese hiezu nichts beitragen könnte, wenn ein vollkommnes Leitungsvermögen in der Säule Statt fände.

Denn dann würde jedes metallische Element derselben augenblicklich und unmittelbar aus dem Boden die Elektricitätsmenge nach sich ziehen, die ihm vermöge der Stelle, die es einnimmt, zukommt. So würde sich die Säule fortwährend von selbst und bis zu dem nämlichen Grade wieder laden, so wie sie entladen worden wäre; was die Gleichförmigkeit und Dauer ihrer Wirkung unterhalten müßte. Die, im vorigen Capitel enthaltenen, Versuche haben uns jedoch gelehrt, daß der Fall eines vollkommnen Leitungsvermögens in der Wirklichkeit nie vorkommt und obwohl es zweckmäßig war, einen solchen im Anfange den Betrachtungen zu Grunde zu legen, um eine klare Vorstellung von der Art wie durch Uebereinanderschichten mehrerer Paare die Ladung verstärkt werden kann, zu erhalten, so müssen wir doch nothwendig von diesem abstracten Fall zu dem eines unvollkommnen Leitungsvermögens übergehen, um eine der Wirklichkeit entsprechende Vorstellung von der Säule, wie wir sie darstellen können, zu erhalten.

Nach Volta's Ansichten könnte der Sauerstoff auf keine andre Weise wirken, als durch Vermittlung einer innigern Verbindung zwischen den metallischen Elementen der Säule, indem er sie durch die Oxydation gleichsam an einander und an die, zwischen ihnen befindlichen, unvollkommen leitenden, Scheiben heftete. Wahrscheinlich ist allerdings, daß dieses innigere Anhaften viel zur Verstärkung der Leitung beiträgt, zumal im Anfange der Wirkung. Ist es aber so weit gediehen, daß die ganze Säule so zu sagen nur eine einzige feste Masse bildet, sind die, zwischen den Platten befindlichen, feuchten Scheiben ausgetrocknet, ist aller umgebende Sauerstoff verschluckt, und scheint die chemische Wirkung ganz und gar erloschen, welchen neuen Zuwachs kann dieses Anhaften dann noch durch den Zutritt einer neuen Quantität Sauerstoff erhalten? und insbesondre, wie kann ein solcher Erfolg augenblicklich eintreten? das Statthaben dieses letzten Umstands schließt offenbar jeden Gedanken an eine rein mechanische Ursach aus und beweist, daß die Wiederbelebung des el. Zustands blos von dem Zutritt des Sauerstoffs zwischen die Metallpaare herrührt; sey es, daß er jedem derselben durch seine bloße Berührung unmittelbar die, ihm seiner Rangordnung nach zukommende, el. Ladung wiedergiebt; oder auch, daß er durch die Verbindungen, in die er mit den Stoffen, aus welchen der Apparat besteht, eingeht, plötzlich das Leitungsvermögen darin wieder herstellt.

Um die Bedingungen, welchen diese Wiederherstellung des el. Zustands Genüge leisten muß, genau fest zu stellen, wollen wir uns eine Säule folgendermaßen geschichtet denken: Kupfer, Zink, feuchter Leiter, und sie durch ihre Kupfergrundfläche mit dem Boden in

Verbindung setzen. Im Zustand des Gleichgewichts werden alle Stücke dieser Säule einen Ueberschuß positiver El. besitzen, der von der Stelle, die sie einnehmen, abhängt. Berührt man das obere Stück, so wird es den Ueberschuß, den es besitzt, in den Boden entweichen lassen, und ihn durch die feuchten Leiter hindurch aus den untern Stücken wieder zu ersetzen suchen. Da jedoch diese Leiter nicht vollkommen sind, so wird hiezu eine gewisse Zeit erforderlich seyn; und wiederholt man die Entladung, bevor die Mittheilung hat Statt finden können, so wird das obere Stück aus dem Kupferstück, mit dem es in unmittelbarer Berührung ist, positive El. an sich ziehen, so daß dies einen Ueberschuß negativer El. erhält; und das Nämliche wird mehr oder minder in allen Plattenpaaren vor sich gehn. So muß also der Zustand einer Säule beschaffen seyn, in der, vermöge einer lange Zeit hindurch Statt gehabten Verbindung beider Pole, die, zwischen den Plattenpaaren befindlichen, feuchten Leiter so modificirt worden sind, daß sie die El. gar nicht mehr, oder doch nur zu langsam durchlassen, um noch das Entstehen chemischer und physiologischer Erscheinungen zu gestatten.

Unter diesen Umständen wollen wir nun die Scheiben mit einer Sauerstoff-Atmosphäre umgeben. Dieser Sauerstoff wird von allen Zinkscheiben, welche sich in positivem Zustande befinden, angezogen werden und sich demnach mit ihrem Stoff, vermöge seiner Verwandtschaft zu demselben und des elektrischen Einflusses, der ihn dazu bestimmt, verbinden. Das hiedurch entstehende Zinkoxyd wird nun aber für sein Theil nach der Oberfläche des überliegenden Kupferstücks angezogen werden, welches die Unvollkommenheit der Leiter in negativem Zustande läßt. Es wird also diesem Stück die positive El. des metallischen Zinks, von welchem es sich losmacht, zuführen; und vermöge dieser überführenden Bewegung, die von Unten nach Oben durch die ganze Säule hindurchgeht, wird die Fortleitung der El. wieder hergestellt werden. Das Nämliche würde auch in einer Säule Statt haben, die durch ihre oberste Zinkplatte mit dem Boden in Verbindung stände, weil die Unvollkommenheit der Leiter ebenfalls den metallischen Elementen gestatten müßte, entgegengesetzte Zustände anzunehmen.

Diese Erklärungsart, welche von Davy herrührt, findet ihre Anwendung auch auf alle andre chemische Zersetzungen, die im Innern der Säule vor sich gehen. Die daraus hervorgehenden Producte nehmen, indem sie von den verschieden elektrisirten Oberflächen angezogen werden, ihre El. nach denselben mit hin, und bringen so unmittelbar das nämliche Resultat hervor, welches durch ein vollkommnes Leitungsvermögen hervorgebracht werden würde.

Wenn man jedoch auch anerkennen muß, daß die Bewegung dieses Ueberführens zur Wiederherstellung des el. Gleichgewichts nicht anders als mitwirkend seyn kann, so läßt sich doch nicht wohl in ihr die einzige Ursach dieser Wiederherstellung suchen; denn sie scheint doch nur allmälig und langsam wirken zu können, insbesondre in Apparaten, in denen, vermöge lange geschlossenen Kreises, die feuchten Scheiben ganz ausgetrocknet sind. Wohl möglich daher, daß der Sauerstoff auch durch seine Berührung selbst zur Wiederherstellung des el. Gleichgewichts beiträgt, vermöge einer Zersetzung, welche in seinen natürlichen Elektricitäten durch Berührung der positiv elektrisirten Oberflächen vor sich geht. Von großem Nutzen würde es seyn, hierüber weitere Forschungen anzustellen. Auf welche Art übrigens auch das Wiederanfachen der Wirksamkeit des Apparats Statt haben mag, immer kann es nur unter Erfüllung der wesentlichen Bedingung geschehen, daß beide Elektricitäten darin zugleich und in gleichen Mengen entwickelt oder fortgepflanzt werden, d. h. so, daß sie sich wechselseitig neutralisiren können: denn, wenn ich durch den Condensator untersuchte, ob etwa ein Ueberschuß einer oder der andern El. am Apparate bei geschlossenem Kreise bemerklich gemacht werden könnte, so fand ich ihn auch für die empfindlichsten Prüfungsmittel und an den kräftigst wirkenden Apparaten stets unmerklich.

Ein Rückblick auf die erörterten Thatsachen wird zeigen, daß alle Modificationen, welche im chemischen Zustande der feuchten Leiter eintreten, von Einfluß auf die Wirkung der Säule seyn müssen, indem sie entweder die Bedingungen des el. Gleichgewichts bei der Berührung verändern, oder das Leitungsvermögen modificiren. Eine Folge dieser beiden Ursachen ist, daß die Quantität El., welche dem Condensator durch eine einfache Berührung mitgetheilt wird, beträchtliche Abänderungen erleiden kann, wie sich unmittelbar durch die Erfahrung nachgewiesen findet und noch auffallender durch die Ungleichheiten in der chemischen Wirksamkeit zeigt, welche die nämlichen Säulen zu verschiednen Zeiten darbieten; ein Umstand, auf den wir bald Gelegenheit haben werden, zurückzukommen.

Die fortschreitende und unvermeidliche Schwächung der, mit feuchten Leitern geschichteten, elektromotorischen Apparate hat eine große Menge Versuche veranlaßt, die Einrichtung einer Säule blos mit ganz trocknen Leitern zu entdecken. Bisher sind diese Bemühungen vergebens gewesen, oder wenigstens besaßen die so eingerichteten Säulen kein hinlängliches Leitungsvermögen, um chemische Erscheinungen hervorzurufen, welches doch der Hauptzweck ist, für welchen ein Apparat von dauernder Wirksamkeit wünschenswerth wäre.

Volta hat in diesem Bezug zwischen den metallischen Substanzen eine sehr merkwürdige Beziehung entdeckt, welche, wenn seine Angabe wirklich in voller Genauigkeit wahr ist, die Errichtung einer Säule blos aus solchen Substanzen unmöglich macht. Was er darüber sagt, läuft auf folgendes hinaus, dessen Wahrheit ich jedoch nicht durch eigne Versuche verbürgen kann.

Ordnet man die Metalle folgendermaßen: Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink, so wird jedes derselben positiv mit dem, ihm in der Reihe vorhergehenden, negativ mit dem nachfolgenden *). Die positive El. wird also vom Silber ans Kupfer, vom Kupfer ans Eisen, vom Eisen ans Zinn treten und so fort.

Die Eigenthümlichkeit, von welcher die Rede ist, besteht nun darin, daß die Ungleichheit elektrischer Ladung zwischen dem Silber und Zink gleich der Summe der Unterschiede ist, welche den, zwischen ihnen in der Reihe begriffenen, Metallen zukommen: woraus folgt, daß, wenn man sie in obiger, oder in irgend einer andern beliebigen, Ordnung in Berührung bringt, die äußersten Metalle immer in dem nämlichen Zustande seyn werden, als wenn sie sich unmittelbar berührten. Denkt man sich also eine beliebige Anzahl so angeordneter Elemente, deren äußerste z. B. durch Silber und Silber gebildet werden, so wird man das nämliche Resultat erhalten, als wenn die Elemente blos aus diesen beiden Metallen bestänben; d. h. man wird gar keinen Erfolg, oder nur den sehen, den ein einziges Element hervorgebracht haben würde.

Es scheint bis jetzt, daß die angegebene Eigenschaft sich auf alle feste Körper, welche sehr gute Leiter sind, erstreckt; allein sie hat nicht zwischen ihnen und den Flüssigkeiten Statt, und darum gelingt die Errichtung der Säule mittelst letztrer. Hierauf gründet sich Volta's Eintheilung der Leiter in zwei Classen, deren eine die festen, die andre die flüssigen Körper enthält. Bisher hat man einen Voltaischen Apparat nur durch angemessene Vereinigung von Leitern aus beiden Klassen zu errichten vermocht; sie aus Leitern der ersten Classe allein zu erbauen, ist unmöglich; und die wechselseitige Wirkung der

---

*) Poggendorf hat mit Hülfe des, späterhin zu beschreibenden, elektromagnetischen Multiplicators eine Ergänzung dieser Reihe der Elektromotoren gegeben; sie folgen sich nach seinen Versuchen, von der positiven Seite ausgegangen, in folgender Ordnung: Zink, Cadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Uran (?), Messing (Kupfer, Magneteisenstein, Kupfernickel), Kobalt, Wismuth, Antimonium, Arsenik, Chrom, Silber, Nickel (Quecksilber, Schwefelkupfer, Schwefelkies), Tellur, Gold (Bleiglanz, Kohle), Platina, Graphit, Manganhyperoxyd.

(Pfaffs Elektromagnetismus S. 107.)

Körper, welche die zweite Classe ausmachen, kennt man noch nicht hinreichend, um darüber entscheiden zu können, ob es sich hinsichtlich ihrer eben so verhalte. Es scheint jedoch, daß dem nicht so ist; denn die Natur hat mehrere Säulen aus Flüssigkeiten in den elektrischen Apparaten gewisser Fischarten, namentlich des Zitterrochens, verwirklicht.

Ist es gleich nicht geglückt, ganz trockne und unzersetzbare Voltaische Apparate darzustellen, so hat man doch solche zu errichten vermocht, in denen, bei sehr geringer Feuchtigkeit, die Wirkung zwar sehr schwach, aber zugleich von sehr langer Dauer ist. Hachette baute eine der Art aus metallnen Plattenpaaren auf, die er durch eine einfache Schicht mit Kochsalz vermengten Mehlkleisters schied. Wenn diese Schicht getrocknet war, so reichte die Feuchtigkeit, welche sie aus der Atmosphäre an sich zog, hin, ihr ein hinlängliches Leitungsvermögen zu ertheilen, um die Wiederherstellung des elektrischen Gleichgewichts zwischen den metallischen Elementen in einer unmerklichen Zeit zu gestatten; auch ladet sie den Condensator durch eine einmalige augenblickliche Berührung, und behält diese Eigenschaft ganze Monate und Jahre hindurch, wodurch sie zu einem wahren Elektrophor wird, allein sie bringt weder Erschütterung, noch Geschmacksempfindung, noch chemische Wirkung zuwege. Zamboni hat ebenfalls eine Säule errichtet, deren elektrische Wirksamkeit sehr dauerhaft zu seyn scheint; er baut sie aus Papierscheiben auf, die auf einer Fläche vergoldet oder versilbert, und auf der andern mit einer Schicht pulverisirten Manganoxyds bedeckt sind. Bei der Schichtung dieser Scheiben nun werden die Plattenpaare durch das Gold oder Silber, in Berührung mit dem Manganoxyd dargestellt, und das Papier dient als leitender Zwischenkörper. Hiebei kann nur eine sehr schwache Fortleitung der El. Statt haben; auch erhält man dadurch blos elektrische Zeichen, wie durch die Säule mit Mehlkleister, aber weder chemische Wirkung, noch Erschütterung, noch auch Geschmacksempfindung. Diese letzte Klasse von Erscheinungen fodert mithin eine raschere Wiederherstellung des elektrischen Gleichgewichts. Um den höchsten Grad dieser verzögernden Wirkung ins Licht zu setzen, errichtete ich Säulen, in welchen die Stelle des feuchten Leiters durch Scheiben von, im Feuer geschmolzenen, Salpeter ersetzt war. Hier war das Leitungsvermögen so gering, daß der Condensator eine merkliche Zeit brauchte, sich zu laden, und sich dann fortschreitend bis zu einer gewissen Gränze lud, welche die nämliche war, als für die am kräftigsten wirkenden Säulen, bei einer gleichen Anzahl Schichtungen. Nach dem Gesetze dieser Ladungen konnte ich schließen, daß die anfängliche Menge von El., welche dem Condensator durch eine solche Säule in einem unendlich

kleinen Zeittheil ertheilt wurde, ohne Vergleich geringer war, als bei den gewöhnlichen Säulen; und da es diese anfänglichen Ladungen sind, welche die chemischen Zersetzungen bei geschlossenem Voltaischen Kreise hervorrufen, so erhellt, warum solche Säulen, in denen das Leitungsvermögen sehr schwach ist, keine Erscheinung dieser Art hervorrufen, und weder chemische Wirkung, noch Geschmacksempfindung, noch Erschütterung veranlassen.

Aus dem nämlichen Gesichtspuncte erklärt sich auch, warum Voltaische Apparate, welche Anfangs, wenn die Plattenpaare, aus denen sie bestehen, eben erst in Berührung mit den flüssigen Leitern gebracht waren, eine sehr kräftige chemische Wirkung äußerten, schnell an Wirksamkeit abnehmen und bald nur noch einen ganz schwachen Grad derselben äußern, obwohl der Condensator bei Berührung ihrer Pole immer die nämliche Ladung durch sie erhält. Der Grund hievon liegt nämlich darin, daß, wie schnell man auch die Berührung vornehmen mag, dieselbe doch nie ganz augenblicklich ist; ja sie dauert sogar, wenn nicht das Leitungsvermögen auf einen ausnehmend geringen Grad herabgebracht ist, wie in der Säule mit den Salpeterscheiben, jedenfalls noch lange genug, um dem Condensator das Maximum der Ladung annehmen zu lassen, das er zu erlangen vermag. Allein obwohl der Fortgang dieser Ladung in der Zeit für uns unmerklich seyn mag, so findet er darum doch nicht minder Statt, und kann im Anfange der Wirkung ohne Vergleich am schnellsten gewesen seyn: so daß die anfänglichen Entladungen des Apparats Erscheinungen hervorzurufen vermochten, die sich später nicht mehr durch sie erhalten lassen.

Diese Beobachtungen lassen den Schluß ziehen, daß die vortheilhafteste Einrichtung des Voltaischen Apparats, um kräftige chemische Wirkungen hervorzubringen, die seyn wird, wo die Elektricitätsmengen, die in jedem Augenblick und ohne Unterlaß durch die Berührung der verschiednen Metalle jedes Plattenpaars entwickelt werden, möglichst frei durch die flüssigen Leiter, durch die sie geschieden werden, abfließen können. Man muß also zuvörderst als solche Flüssigkeiten die anwenden, welche die El. am besten leiten. Es scheinen dies stark verdünnte Salpeter- und Schwefelsäure zu seyn. Eine andre vortheilhafte Bedingung wird die seyn, den Metallplatten große Oberflächen zu geben. Eine solche Ausdehnung ist zwar nicht für die Berührungsflächen der Metalle jedes Plattenpaars erforderlich, indem es scheint, daß die El. sich augenblicklich an denselben entwickelt und mit solcher Schnelligkeit von da verbreitet, daß die kleinste metallische Berührungsfläche hinreicht, die vollkommene Ladung der ausgedehntesten und leitendsten flüssigen Massen, bei einer gegebenen Repulsivkraft, zu unterhalten. Aber eben aus diesem Grunde muß die Größe der

Berührungsoberflächen mit der Flüssigkeit von sehr großem Einfluß auf die absolute, in gleicher Zeit durchgeleitete, Elektricitätsmenge seyn; die Wirksamkeit wird somit mit deren Dimensionen zunehmen. Endlich müssen auch die feuchten Zwischenleiter so viel als möglich in dem Zustande ihrer ursprünglichen chemischen Zusammensetzung und ihres Leitungsvermögens, während der Apparat in Wirkung ist, erhalten werden, und da sich diese Bedingung nicht blos durch Vermehrung ihrer Massen erfüllen läßt, was den Apparat unbequem machen würde und selbst durch Vergrößerung der Abstände zwischen den Plattenpaaren schaden könnte, so muß man die Einrichtung treffen, daß die leitenden Flüssigkeiten leicht erneuert und blos in dem Augenblick mit den Plattenpaaren in Berührung gesetzt werden können, wo der Apparat in Wirkung treten soll. Alle die angegebenen Vortheile lassen sich dadurch erhalten, daß man den Apparat aus einer Folge von Plattenpaaren bildet, wie sie schon bei Fig. 61. beschrieben wurden. Sämmtliche Paare werden parallel mit einander an einem und demselben Querholz befestigt, welches stark genug ist, um sich nicht unter ihrem Gewicht zu biegen; und darunter stellt man eine gleiche Anzahl hölzerner oder gläserner Gefäße, die mit den leitenden Flüssigkeiten angefüllt werden, Fig. 65. Soll der Apparat in Wirkung treten, so wird das Querholz herabgelassen, wo dann jedes Plattenpaar in die, unter ihm befindliche, Zelle eintaucht. Nach Beendigung der Operation wird das Querholz wieder erhöht, und die Gefäße bleiben für ein anderes Mal mit den Flüssigkeiten gefüllt; glaubt man jedoch, daß dieselben einer Erneuerung bedürfen, so leert man die Gefäße und füllt sie von Neuem. Die Erfahrung hat diese Einrichtung unter allen bisher gebräuchlichen als die einfachste, zweckmäßigste und zugleich wirksamste kennen gelehrt.

Man hat Voltaische Apparate aus Drähten von einem einzigen Metall zu Stande gebracht, welche bogenförmig gekrümmt waren, und in Gefäße, mit einer einzigen Flüssigkeit gefüllt, tauchten, unter welche in abwechselnder Folge Lampen gesetzt wurden, die sie erhitzten. Die bloße Temperaturungleichheit, die so zwischen den beiden Schenkeln der nähmlichen Drähte eintritt, reicht, wie man versichert, hin, eine Ladung mit ungleicher El. darin hervorzurufen. Ich habe nicht Gelegenheit gehabt, Versuche zur Bewährung dieser Thatsache anzustellen; jedoch fügt sie sich der allgemeinen Theorie Volta's sehr wohl, wenn man die Deutung, die wir von seinen Versuchen gegeben haben, zulässig findet.

Ich schließe dieses Capitel mit Erörterung einiger merkwürdigen Erscheinungen, die sich sehr leicht nach den Grundsätzen erklären lassen, welche wir in Bezug auf den Einfluß des Leitungsvermögens bei

den Wirkungen des Voltaischen Apparats so eben aufgestellt haben. Man nehme zwei Drähte, S, Z, Fig. 66, den einen von Silber, den andern von Zink, und tauche beide in Wasser, welches durch Schwefelsäure oder Salzsäure schwach säuerlich gemacht ist. So lange sich die Drähte mit keinem ihrer Puncte berühren, löst sich der Zink in der Säure auf und entbindet Wasserstoffgas, während man am Silberdraht keine Gasblase beobachtet. Bringt man aber die beiden Drähte mit ihrem nicht eingetauchten Ende in Berührung, so erheben sich Gasblasen von beiden. Die Erklärung dieser Erscheinung ist ganz einfach. So lange beide Drähte einander nicht berühren, erfolgt keine Störung im Gleichgewicht ihrer natürlichen Elektricitäten; so wie aber Berührung eingetreten ist, findet eine solche Störung Statt und es geht von einem zum andern ein elektrischer Strom durch die Flüssigkeit hindurch. Bis hieher ist alles noch in Uebereinstimmung mit den übrigen Erscheinungen; folgendes aber könnte mehr außer der Ordnung erscheinen. Krümmt man den Silberdraht so, daß sein, in die Flüssigkeit eingetauchtes, Ende den Zink noch einmal berührt, oder auch, löthet man beide so aneinander, daß sie einen zusammenhängenden Ring, halb von Silber, halb von Zink bilden, Fig. 67, so werden alle Wirkungen noch, wie vorhin, Statt haben. Dessenungeachtet findet sich hier der Zinkdraht mit dem Silber an seinen beiden Enden in Berührung; und müßte nach Volta's Ansichten, da die an beiden Enden geäußerten, elektromotorischen Wirkungen sich das Gegengewicht halten, im natürlichen Zustande bleiben, was der Beobachtung entgegen ist. Dieser Widerspruch hebt sich aber, wenn man, wie von uns geschehen, den Grundversuchen ihre wahre Deutung, unabhängig von jeder Hypothese, giebt. Wir haben gesehen, daß sich in diesen Versuchen blos eine Bedingung des elektrischen Gleichgewichts auffinden läßt, welche bei Berührung der Metalle mit einander Statt haben muß, vermöge deren z. B. das Silber bei Berührung mit dem Zink einen Ueberschuß — e negativer, und der Zink einen Ueberschuß + e positiver El. besitzen muß. Dieser Bedingung nun muß in dem Ringe an den beiden Verbindungsstellen des Silberdrahts mit dem Zinkdraht Genüge geschehen, und so verbreitet sich der nämliche elektrische Zustand über jeden Draht, wegen des freien Durchganges, den die El. durch seine Substanz findet. Taucht man nun den Ring in eine leitende Flüssigkeit bis über die Verbindungsstellen beider Drähte, so daß ein Theil von beiden untergetaucht ist, so vereinigen sich die beiden entgegengesetzten Elektricitäten, welche sich auf dem einen und andern Drahte befinden, durch die leitende Flüssigkeit hindurch, und da sie sich unaufhörlich an den Berührungspuncten beider Metalle erneuern, so entsteht hiedurch ein fortdauern-

der Kreislauf, welcher alle, bei einem Volta'schen Plattenpaare vorkommende, Erscheinungen hervorbringen muß. Der Fall ist ganz der nämliche, als der, den eine volle Platte, Fig. 61, darbieten würde, deren obere Hälfte von Zink, die untere von Kupfer wäre, und die sich in einer leitenden Flüssigkeit bis über die Verbindungsstelle eingetaucht befände. Nur findet in einer solchen Platte die Bedingung der Ladung mit ungleicher El. für alle Puncte der Berührungslinie AB Statt, und die Ladung theilt sich von da der ganzen Ausdehnung der Platte, vermöge ihrer Leitungsfähigkeit, mit; anstatt daß in dem Ringe diese Bedingung ursprünglich nur in den beiden Puncten, welche die Berührungsstellen der Drähte ausmachen, Statt findet.

In der ersten Zeit nach Erfindung der Trogapparate wurden zwei der entgegengesetzten Wandungen jeder Zelle durch die Metallplatten selbst gebildet, und die leitende Flüssigkeit in die Zwischenräume gegossen, wodurch man die, in Fig. 69. vorgestellte, Anordnung erhielt, in welcher Z die Zinkplatten, C die Kupferplatten und L die dazwischen gebrachte leitende Flüssigkeit bezeichnet. Oefters nun geschah es, daß, wenn die Flüssigkeit in die Zellen gegossen war, die Gasentbindung sie bis über die obern Ränder der Zellen hinaustrieb, und diese so näßte, daß jede Zinkplatte mit der anliegenden Kupferplatte durch eine feuchte Schicht in Verbindung kam. Dessenungeachtet dauerten die Wirkungen des Stroms im Ganzen noch fort, obwohl mit mindrer Intensität, als wenn die Platten trocken gewesen wären. Der Grund davon war, daß die, durch eine solche feuchte Schicht entstandene, leitende Verbindung bei Weitem nicht hinreichte, alle El. abfließen zu lassen, welche durch die Berührung sämmtlicher Oberflächen der Platten entwickelt wurde. Der übrige Theil gieng also durch die Flüssigkeit der Zellen hindurch, und bildete, durch die Berührung der Metalle beständig erneuert, einen anhaltenden elektrischen Strom, wie gewöhnlich.

Hienach leuchtet ein, daß ein solcher Strom auch noch Statt haben würde, wenn jede Zinkplatte mit jeder Kupferplatte durch einen bessern Leiter, als eine einfache feuchte Schicht, in Verbindung stände, nur würden seine Wirkungen noch mehr dadurch geschwächt werden, da sie dann durch eine geringere Menge El. hervorgebracht würden. Dies nachzuweisen, nehme man ein einfaches Plattenpaar mit großer Oberfläche, Fig. 70, so eingerichtet, wie das, S. 321 beschriebene, und überzeuge sich durch Eintauchen in eine Säure, daß es den, das Kupfer mit dem Zink verbindenden, Platindraht zum Glühen bringt. Darauf bringe man irgendwo zwischen die Zink- und Kupferplatte einen andern dünnen Metalldraht, wie f', der gegen sich selbst zurück gerollt ist, so daß er sich durch seine eigne Federkraft zwischen den

beiden Platten erhält. Man wird alsdann sehen, daß der Platindraht f dessenungeachtet noch glüht, obwohl allerdings in einer geringern Länge; oder, wenn man will, wird man auch einen andern dünnern Draht noch in seiner ganzen Länge zum Glühen bringen können. Die, durch den zweiten Draht veranstaltete, Verbindung reicht nämlich nicht hin, alle El. durchzulassen, welche durch die gesammte Berührungsfläche der Platten entwickelt wird, und der übrige Theil, der durch den ersten Draht abfließt, ist noch beträchtlich genug, um ihn ins Glühen zu versetzen; eben so wie im obigen Fall das Durchstreichen dieses übrigen Theils durch den flüssigen Leiter noch eine Gasentwicklung darin veranlaßte; und, sollte man noch einen Zweifel hegen, daß sich der elektrische Strom wirklich so zwischen die beiden Drähte f, f′ vertheilt hat, so würde man durch den Umstand davon überzeugt werden, daß der Draht f′, der vermöge seines bloßen Angedrücktseyns die unvollkommenere Verbindung bewerkstelligt, sich selbst merklich erhitzt, während der Draht f glüht. Diese interessanten Versuche wurden mir von Gay Lussac, als mit der Voltaischen Theorie unvereinbar, mitgetheilt, und sie sind es, die mich zu einer Zurückführung derselben auf einfache Bedingungen des elektrischen Gleichgewichts geleitet haben, wie auf S. 298 von mir erörtert worden. Die nämlichen Grundsätze erklären auch, warum die Wirksamkeit einer, mit einer gut leitenden Flüssigkeit geschichteten, Säule nicht aufhört, wenn dieselbe ganz in Wasser getaucht wird. Die El. circulirt nämlich im Wasser minder schnell, als im Innern der Säule; woraus folgt, daß die, durch das Wasser bewirkte, leitende Verbindung keine gänzliche Entladung derselben bewirken kann, so lange der Zwischenleiter in der Säule nicht verschwunden ist.

Neunzehntes Capitel.

Von den secundären Säulen.

Während man sich in Zusammenstellungen erschöpfte, um einen Voltaischen Apparat blos aus trocknen, und mithin unveränderlichen, Substanzen herzustellen, entdeckte Ritter einen Apparat, der unfähig zwar, durch eigne Wirkung selbstständig El. zu erzeugen, doch durch die Voltaische Säule so geladen zu werden vermag, daß er vorübergehend alle Eigenschaften derselben annimmt. Dies ist, was man die Ritterschе secundäre Säule oder Ladungssäule nennt.

Um sich eine richtige und angemessene Vorstellung davon zu machen, muß man sich eine Beobachtung Volta's zurückrufen, die wir

schon auf S. 309 angeführt haben, wodurch das unvollkommene Leitungsvermögen vegetabilischer, mit Wasser getränkter, Substanzen nachgewiesen wird. Isolirt man eine Voltaische Säule, deren oberer Pol positiv, der untere negativ ist, und setzt diese beiden Pole durch einen unvollkommenen Leiter mit einander in Verbindung, dergleichen z. B. für solche geringe Elektricitätsmengen ein, mit reinem Wasser befeuchteter, Papierstreifen darstellt, so wird jede Hälfte dieses Streifens die El. des Pols annehmen, mit welchem sie in Verbindung steht, die obere Hälfte wird positiv, die untere negativ werden. Wie wir bemerkten, ergiebt sich diese Erscheinung als klare Folgerung aus den Gesetzen, welche die El. bei ihrer Ausbreitung über Körper, welche sie unvollkommen leiten, befolgt.

Gesetzt nun, man entferne diesen unvollkommenen Leiter mittelst eines isolirenden Körpers, z. B. eines Glasstabs, von der Säule; so wird sich das Gleichgewicht zwischen seine beiden Enden nicht augenblicklich wiederherstellen; das eine derselben wird vielmehr noch einige Zeit hindurch positiv, das andre negativ bleiben, wie, da sie noch mit den beiden Polen der Säule in Verbindung standen.

Diese Verschiedenheiten werden allmälig in dem Maße als die entgegengesetzten Elektricitäten wieder zusammentreten, schwächer werden, und bald wird vermöge ihrer Neutralisation alle Wirkung derselben verschwunden seyn.

Ganz hierauf läßt sich der Fundamentalversuch von Ritter zurückführen. Hier tritt blos an die Stelle des feuchten Streifens eine Säule, bestehend aus Kupferscheiben mit untermischten feuchten Pappscheiben. Diese Säule ist unfähig, selbstständig El. zu erregen, wenigstens wenn man in ihr die Elemente jeder Art als homogen unter einander voraussetzt; allein sie vermag durch Mittheilung von der Voltaischen Säule geladen zu werden, wie der oben besprochene feuchte Papierstreifen. Doch macht Folgendes einen wesentlichen Unterschied zwischen beiden Resultaten. Es scheint daß die El., wenn sie schwach ist, eine gewisse Schwierigkeit erfährt, von einer Oberfläche zur andern überzugehn. Wenigstens scheint dies aus Ritters Versuchen zu erhellen, und vielleicht wird dieser Widerstand durch die unmerkliche nichtleitende Luftschicht hervorgebracht, welche sich an die Oberflächen aller Körper anhängt. Die El., welche in die, mit einem einzigen Metall aufgebaute, Säule eingeführt wird, erfährt also auch eine solche Schwierigkeit, vom Metall zur feuchten Pappe überzugehen, ein Hinderniß, welches mit der Zahl der Abwechslungen zunimmt. Eine, einmal geladene, Säule dieser Art muß demnach ihre El. sehr langsam verlieren, wenn keine unmittelbare Verbindung zwischen ihren beiden Polen eingeleitet ist. Geschieht dies aber durch

einen guten Leiter, so wird, da nun der Abfluß und die Vereinigung der Elektricitäten schnell darin vor sich geht, eine Entladung, wie bei der Leydner Flasche durch eine augenblickliche Erschütterung erfolgen. Hierauf wird ein neuer Zustand von Gleichgewicht eintreten, in welchem die Repulsivkräfte der verschiednen Platten nach Verhältniß der, augenblicklich neutralisirten, Elektricitätsmenge vermindert seyn werden. Es müssen also bei wiederholter Berührung neue, immer schwächer werdende, Entladungen eintreten; sie hören aber bald auf, merkbar zu seyn, eben weil die Gleichartigkeit der Ladung zwischen allen Theilen des Apparats durch sie immer mehr wiederhergestellt wird. Mit einem Worte, die Wirksamkeit der Säule hängt davon ab, daß sie successiv zu einem mehr oder minder guten Leiter wird, je nachdem ihre beiden Enden mit einander in Verbindung stehn oder nicht.

Was die Vertheilungsart der El. darin betrifft, so muß sie so beschaffen seyn, daß ihre Repulsivkraft auf der Oberfläche jeder Platte, verbunden mit dem Widerstande der anliegenden Oberflächen den vereinten Wirkungen aller übrigen das Gleichgewicht halte. Gesetzt also, die Zahl der Elemente sey ungleich, und der ganze Apparat isolirt, so werden die Elektricitätsmengen von den beiden Enden an, wo sie gleich und entgegengesetzt sind, bis zur Mitte hin, wo sie null sind, abnehmen, wie in der ursprünglichen Säule; steht aber der Apparat an seiner Basis mit dem Boden in Verbindung, so wird die El. an dieser Basis null seyn, und von da durch die ganze Länge der Säule bis zum Gipfel zunehmen, wo sie der Ladung der primären Säule gleich seyn wird.

Der eben beschriebene Apparat bringt, mit einer mindern Intensität, die Erschütterungen, Wasserzersetzungen und die andern physiologischen und chemischen Wirkungen hervor, die man durch die gewöhnliche Säule erhält. Durch Abänderung der Zahl und Ordnung der Kupfer- und Pappscheiben gelangte Ritter zu mehrern interessanten Resultaten. So beobachtete er, daß unter allen Anordnungsarten einer gewisse Anzahl heterogener Leiter, diejenige, in welcher die wenigsten Abwechselungen Statt finden, dem Durchlassen der El. am günstigsten ist. Errichtet man z. B. eine Säule aus vier und sechzig Kupferscheiben und vier und sechzig feuchten Pappscheiben, die man in drei Massen anordnet, so daß alle Pappscheiben eine fortlaufende Masse bilden, die zu jeder Seite von zwei und dreißig Metallscheiben begränzt wird, so wird dieser Apparat die El. der Voltaischen Säule sehr gut leiten, und sich mithin sehr wenig oder gar nicht auf dauerhafte Weise laden. Schiebt man zwischen die feuchten Leiter eine Kupferplatte ein, so mindert sich schon das Leitungsvermögen, und wird bei häufigern Unterbrechungen noch mehr geschwächt; so daß man

durch Vervielfältigung derselben zu Systemen gelangt, in denen das Leitungsvermögen kaum merklich ist. Dies sind die Erscheinungen, durch welche Ritter auf den Widerstand aufmerksam gemacht wurde, den eine schwache El. beim Uebergang von einer Oberfläche zur andern findet, ein Widerstand, der jedoch nur für so schwache Grade von El. wirksam ist; denn, vermöge einer besondern Eigenthümlichkeit, öffnet sich eine El., die stark genug ist, ihn zu überwinden, ganz und gar einen freien Durchgang und fließt vollkommen ab.

Wie man sieht, läßt sich, durch veränderte Anordnung der Elemente in einer secundären Säule, ihr Leitungsvermögen nach Willkür (zwischen gewissen Gränzen) abändern. Es war zu erwarten, daß diese Modificationen einen verschiednen Einfluß auf die chemischen und physiologischen Wirkungen äußern würden. Um zu sehen, wie das Fortschreiten dieser Abänderungen Statt habe, fing Ritter mit der Anordnung einer gegebenen Anzahl feuchter und fester Leiter in zwei Gruppen an, und schritt bis zu den zahlreichsten Abwechslungen vor. Folgendes sind die Resultate, die er erhielt.

Eine sehr geringe Anzahl von Abwechslungen verstattet dem elektrischen Strom der primären Säule, wofern er hinlänglich stark ist, einen leichten Durchgang. Der Apparat ladet sich daher nicht auf dauerhafte Weise, und es treten weder chemische, noch physiologische Wirkungen ein. Vermehrt man die Anzahl der Abwechslungen, während die primäre Säule die nämliche bleibt, so fängt die secundäre Säule an, sich zu laden. Sie theilt dem Elektroskop El. mit, entbindet aus dem Wasser einige Gasblasen, bringt aber keine Erschütterungen in den Organen hervor. Bei noch mehr vermehrter Anzahl der Abwechslungen nimmt die elektrische Ladung zu; man erhält Wasserzersetzung, Geschmacksempfindung, Erschütterung. Bei einer gewissen Gränze der Abwechslungen jedoch hören die chemischen und physiologischen Wirkungen auf zuzunehmen, obwohl die elektrische Gesammtladung sich gleich bleibt, oder selbst noch wächst. Ueber diese Gränze hinaus erhält sich diese Ladung noch immer, allein die andern Wirkungen werden schwächer. Die Gasentbindung läßt erst nach, darauf die Erschütterung. Man sieht alsdann das andre Extrem eines zu unvollkommenen Leitungsvermögens herbeigeführt; und die fortschreitende Abnahme jener Erscheinungen bei gleich bleibender elektrischer Ladung bestätigt denn noch vollends, was wir oben hinsichtlich der Abhängigkeit dieser Erscheinungen von der Schnelligkeit der Fortleitung erörterten.

Nach denselben Grundsätzen ergiebt sich, warum sich der Ritterschе Apparat mehr als jeder andere eignet, den Unterschied, den das vollkommnere und unvollkommnere Leitungsvermögen in den Wirkungen

bedingt, ins Licht zu setzen. In der gewöhnlichen Säule wächst die Quantität freier El. mit der Anzahl der Schichtungen, und wiegt dadurch den Widerstand auf, der aus den Abwechslungen hervorgeht; anstatt daß in der secundären Säule die Repulsivkraft der El. an beiden Polen niemals die der primären Säule übersteigen kann; und der Widerstand, den die Abwechslungen darbieten, ganz dazu verwandt wird, den Abfluß einer nämlichen Elektricitätsmenge zu modificiren.

Wenn endlich die Voltaische Säule auf die angegebne Art die Ritterschе secundäre Säule zu laden vermag, so erhält sie dies Vermögen dadurch, daß die Repulsivkraft der El. an ihren Polen ausnehmend schwach, fast möchte man sagen, unmerklich ist. Eine stärkere El., wie z. B. die der gewöhnlichen Elektrisirmaschinen, würde sogleich durch das ganze System der Leiter, aus denen die secundäre Säule besteht, hindurchgehn, und vermöchte mithin keine der Wirkungen hervorzubringen, welche von ihrer Anhäufung herrühren.

Die Verschiedenheiten, welche sich in den chemischen Wirkungen der gewöhnlichen Säulen je nach der Größe ihrer Platten zeigen, finden sich auch in den secundären Säulen wieder. Die Beschaffenheit der Pappscheiben, ihre Dicke, die Art der Auflösung, mit welcher sie befeuchtet werden, endlich die Ordnung, in welcher man sie untereinander mengt, so wie noch eine Menge andrer geringfügiger Umstände, bringen tausendfältige Modificationen in diesen Wirkungen hervor, deren Untersuchung eben so belehrend, als interessant seyn würde.

Da die secundäre Säule, wie oben erörtert, aus einem einzigen Metall und einer feuchten Substanz zusammengesetzt ist, so scheint sie dem ersten Anblick nach keine selbstständige El. besitzen zu können, und in der That ist ihre eigene Wirkung vor ertheilter Ladung fast unmerklich. Jedoch läßt sie sich merklich machen, wenn man die Muskeln und Nerven eines Frosches mit ihren beiden Enden in Verbindung setzt. Dies rührt wahrscheinlich von einer geringen Ungleichheit der Beschaffenheit her, die unter einer großen Anzahl von Stücken immer unvermeidlich ist, wenn sie auch aus dem nämlichen Metall bestehen.

Zwanzigstes Capitel.

Ueber den ungleichen Widerstand, den die beiden Elektricitäten, wenn sie sehr schwach sind, beim Hindurchgehen durch verschiedne Körper, erfahren.

Bei Untersuchung der Art, wie sich die El. durch Körper von verschiedner Beschaffenheit entladet, haben wir erkannt, daß selbst diejenigen, welche sie am besten zu leiten scheinen, doch ihrem Durchgange einen merklichen Widerstand entgegensetzen. Durch Zusammenstellung dieser Resultate mit denen, welche uns die unvollkommen isolirenden Träger darboten, wurden wir zu dem Schluß geführt, daß die Unvollkommenheit des Leitungsvermögens in dem Maße zunehmen muß, als sich die Repulsivkraft der durchgelassenen El. mindert; so daß bei einem gewissen, für jeden Körper bestimmten, Grad der Schwächung, alle Körper, selbst die Metalle, eine vollkommene Isolirung hervorbringen würden. Der Voltaische Apparat, der eine unerschöpfliche Quelle von El. mit sehr geringer Repulsivkraft darbot, vereinigte die Bedingungen, die sich am meisten zu diesen Untersuchungen eigneten; auch hat er uns zur Entdeckung von Verschiedenheiten und Unvollkommenheiten in den leitenden Eigenschaften der Flüssigkeiten geführt, die durch unsre gewöhnlichen Elektrisirmaschinen nicht bemerklich gemacht zu werden vermochten.

Bei Beschäftigung mit dieser Art von Versuchen machte Ermann die interessante Beobachtung, daß das Leitungsvermögen gewisser Körper für beide Elektricitäten ungleich sey; so daß man, bei immer stärkerer Verminderung ihrer Repulsivkraft, zu einem Grade gelangt, wo der Körper für die eine El. isolirend ist, während er die andre noch zu leiten vermag. Dies wird durch folgende Versuche nachgewiesen.

Ermann isolirt einen Voltaischen Apparat, der mit einer gut leitenden Flüssigkeit, wie z. B. Kochsalzauflösung, aufgebaut ist, und bringt jeden seiner Pole mit einem sehr empfindlichen, gleichfalls isolirten, Goldblattelektroskop in Verbindung. Bald hat jedes Elektroskop den Grad der Divergenz angenommen, der durch die Plattenzahl bedingt wird, und der elektrische Nullpunkt findet sich in der Mitte des Apparats.

Darauf nimmt er ein Prisma recht trockner alkalischer Seife, und steckt in eins seiner Enden einen Metalldraht, der mit dem Boden in Verbindung steht. Berührt er nun mit dem andern Ende einen von beiden Polen der Säule, so wird dieser sogleich entladen; die Divergenz des daselbst befindlichen Elektroskops wird null; dagegen nimmt die Divergenz des Elektroskops am andern Pole zu.

Alles zeigt sich so, als wenn der, vom Prisma berührte, Pol mit dem Boden in leitender Verbindung gestanden hätte, und die Seife scheint hier gleich leitend für eine wie für die andre El. zu wirken.

Während nun die Säule noch isolirt bleibt, und die Repulsivkräfte ihrer Pole sich wiederhergestellt haben, schließe man den Kreis zwischen ihnen durch das nämliche Stück Seife, indem man in die beiden Enden desselben Metalldrähte steckt, die sich nach beiden Seiten zu den Polen begeben. Ungeachtet dieser Verbindung werden die Elektroskope noch wie zuvor divergiren, so daß die Seife hier als Nichtleiter zu wirken scheint.

Hat man sich aber von dieser Isolirung vollkommen überzeugt, so berühre man die Seife einen Augenblick mit einem Metalldraht, der mit dem Boden in Verbindung steht; sogleich wird der negative Pol neutralisirt seyn, und die Repulsivkraft des positiven ihr Maximum erreichen. Die Seife erhält also ihr Leitungsvermögen jetzt wieder; aber blos um die negative El. abfließen zu lassen; und immer ist es diese, die sie vorzugsweise durchläßt, selbst wenn man sie ganz nahe an dem Draht berührt, der sich zum positiven Pol der Säule begiebt. Dieser bleibt darum um nichts minder isolirt.

Die Flamme des Alkohols bot Ermann ähnliche Erfolge dar; allein das Leitungsvermögen war hier zu Gunsten der positiven El. Alles dies gilt blos für sehr schwache Elektricitätsgrade, wie sie der elektromotorische Apparat entwickelt; denn stärkere Grade würden von der Alkoholflamme und der Seife, zwar auf unvollkommene, aber doch nicht merklich verschiedene, Weise geleitet werden.

Bei Wiederholung dieser Versuche bot sich mir am Schwefeläther eine Eigenschaft dar, welche als Ergänzung der Ermannschen Entdeckungen betrachtet werden kann. Diese Flüssigkeit, zwischen beide Pole der Säule gebracht, scheint sie zu isoliren, wie die Seife und die Alkoholflamme. Bringt man in den Kreis einen Wasserzersetzungsapparat, so entbinden sich keine Blasen; kurz Alles zeigt eine vollkommene Isolirung beider Pole an. Berührt man aber den Aether einen Augenblick mit einem Metalldraht, um ihn mit dem Boden in Gemeinschaft zu setzen, während man zugleich einen Condensator an einem der Pole der Säule, beliebig an welchem, anbringt, so ladet sich dieser Condensator vollkommen, als wenn der Aether plötzlich ein Leiter der Art El. geworden wäre, welche dem Pole angehört, an dem sich der Condensator befindet.

Bei Auseinandersetzung dieser Versuche habe ich gesagt, die beiden Pole der Säule *schienen* durch die Dazwischenkunft eines Prisma's von alkalischer Seife isolirt. In der That findet nur theilweise Isolirung Statt. Die Bewegung der El. in dem Seifenprisma ist nicht

ganz und gar null; sondern blos weit langsamer, als in der Säule selbst, welches dieser verstattet, sich immer in merklichem Grade wieder zu laden, und eine Spannung an ihren Polen anzunehmen, während sie durch die Seife entladen wird. Der Beweis davon ist, daß das nämliche Seifenprisma alle El. einer minder leitenden Säule, wie der mit dem Kleister errichteten, fortführt; indem es die Spannung an ihren Polen gänzlich aufhebt, so daß sich der Condensator bei Berührung derselben gar nicht mehr ladet. Die Alkoholflamme, in den Verbindungskreis beider Pole dieser nämlichen Säule gebracht, bewirkt keine so vollständige Entladung derselben. Sie läßt eine Spannung zurück, und man kann die Ermannschen Versuche daran wiederholen. Diese Flamme leitet also die El. minder gut, als die alkalische Seife. Ausführlicher habe ich diese Versuche beschrieben im Bulletin des Sciences, J. 1816. S. 103.

Zusätze *).

Ueber die Umstände, nach welchen sich das Leitungsvermögen der, die Kette schließenden, Körper richtet.

Um die volle Wirkung einer Voltaischen Batterie hinsichtlich der hervorzurufenden chemischen Erscheinungen und ihres, später auseinanderzusetzenden, Einflusses auf Magnete zu erhalten, muß alle El., in dem Maße, als sie in der Säule entwickelt wird, auch durch die, beide Pole verbindenden, Leiter abfließen, widrigenfalls an den Polen noch ein Rückstand von El. in Spannung zurückbleibt, der durchs Elektroskop bemerklich gemacht werden kann, und dessen Wirksamkeit hinsichtlich derjenigen Erscheinungen verloren geht, die blos durch eine, in Strömung befindliche, El. hervorgebracht werden. Es ist daher von Wichtigkeit, die Umstände zu kennen, welche auf das Leitungsvermögen der Substanzen, welche zur Schließung des Kreises gebraucht werden, von Einfluß sind, um sie der beabsichtigten Wirkung gemäß einrichten zu können. Von besonderm Interesse sind in dieser Hinsicht Davy's neuere Versuche, durch welche er näher zu bestimmen suchte, in wie weit Länge, Oberfläche, Masse, eigenthümliche Beschaffenheit, Temperatur u. s. w. des Leiters, dessen Leitungsvermögen abändern.

Diese Versuche stellte Davy im Allgemeinen so an, daß er mit dem Leiter, dessen Leitungsvermögen er unter abgeänderten Umständen prüfen wollte, den Kreis schloß, und beobachtete, wenn er die Säule vollständig entlud. Um aber zu wissen, wenn dies der Fall sey, machte er noch einen zweiten Schließungsbogen mittelst zweier Silberdrähte, die er von den beiden Enden der Batterie aus in Wasser leitete; durch Zersetzung dieses Wassers mußte sich nämlich jeder Rückstand von El., der nicht durch den ersten, aus dem zu prüfenden Leiter gebildeten, Schließungskreis abfließen konnte, offenbaren.

Zuvörderst ward Davy durch seine Versuche zu folgendem allgemeinen Resultate geführt. Das Leitungsvermögen der Metalle verändert sich mit der Temperatur, und zwar nimmt es ab, wenn diese wächst, in irgend einem Verhältnisse zu derselben. Wird z. B. ein drei Zoll langer und

*) Ausgezogen aus Gilberts Annalen und Pfaffs Elektromagnetismus.

$\frac{1}{220}$ Zoll dicker Platindraht unter Oel kalt erhalten, so entladet er vollständig die El. zweier Batterieen oder von 20 Doppelplatten, vermag aber in der Luft, in der die Entladung ihn erhitzt, blos eine Batterie zu entladen.

Hiebei ist es einerlei, ob die Hitze des Drahtes durch die El. selbst, oder ob sie von irgend einer andern Ursach hervorgebracht wird. Ein Platindraht z. B., der eine solche Länge und Dicke hat, daß er eine gewisse Anzahl von Doppelplatten entladet, ohne dadurch bedeutend erhitzt zu werden, verliert, wenn ein Theil desselben mittelst einer Weingeistlampe rothglühend gemacht wird, das Vermögen, die ganze El. dieser Batterie zu entladen, wie sich durch die starke Gasentbindung zeigt, die dann in der zweiten, halbschließenden Kette vor sich geht, und sogleich aufhört, wenn man die Quelle der Hitze entfernt.

Es giebt einige Arten, diese Thatsache darzustellen, bei welchen Wirkungen hervorgebracht werden, die man, so lange man sie nicht selbst gesehen hat, für ganz unmöglich halten sollte. Hat man z. B. in einem Voltaischen Kreise einen, 4 bis 5 Zoll langen, so dünnen Platindraht angebracht, daß die El., welche durch ihn hindurchgeht, ihn in seiner ganzen Länge rothglühen macht, und bringt nun irgend einen Theil desselben durch die Flamme einer Spirituslampe, welche man darunter hält, zum Weißglühen, so erkaltet augenblicklich der Ueberrest des Drahtes bis unter die Temperatur des sichtbaren Glühens. Und hält man umgekehrt an irgend eine Stelle des rothglühenden Drahtes ein Stück Eis, oder treibt auf sie einen Strom kalter Luft, so werden augenblicklich alle andern Theile des Drahts viel heißer, und kommen vom Rothglühn zum Weißglühn.

Das Leitungsvermögen eines Drahtes steht bei übrigens gleichen Umständen im verkehrten Verhältniß seiner Länge. Dieses zeigte sich, als von einem Drahte, der unter eine nichtleitende Flüssigkeit getaucht war, verschiedne Längen mit mehr und weniger Plattenpaaren derselben Batterie verbunden wurden. Denn wenn z. B. 6 Zoll Platindraht von $\frac{1}{220}$ Zoll Dicke die El. von 10 Plattenpaaren entluden, so entluden 3 Zoll die El. von 20 Paaren eben so geladener Platten, $1\frac{1}{2}$ Zoll die El. von 40 u. s. f.

Die Auffindung dieses Gesetzes gab nun auch ein bequemes Mittel an die Hand, das verschiedne Leitungsvermögen der Metalle mit einander zu vergleichen. Davy mittelte hiernach aus, daß beim Entladen der El. von 60 Plattenpaaren gleich wirken

1 Zoll Platindraht
6 Zoll Silberdraht
5½ Zoll Kupferdraht
4 Zoll Golddraht
3, 8 Zoll Bleidraht
0, 9 Zoll Palladiumdraht
0, 8 Zoll Eisendraht

als alle diese Drähte eine gleiche Dicke hatten und sich in reiner, sie kalt erhaltender, Flüssigkeit befanden.

Unter diesen Metallen zeigt sich somit Silber als das am besten leitende.

Die Versuche andrer Physiker über das Verhalten verschiedner fester Körper, als Leiter gebraucht, sind weniger wichtig und genau, als die von Davy. Meist wurde das Leitungsvermögen hiebei durch die Ablenkung gemessen, die der Schließungsbogen an der Magnetnadel hervorbrachte, wenn der zu prüfende Leiter als Glied in denselben gebracht war; indem einer späterhin noch ausführlich zu erwähnenden Eigenschaft zu Folge der Schließungsbogen, der beide Pole einer Säule verbindet, die unter ihn gebrachte Magnetnadel aus der Lage ihrer Ruhe abzulenken vermag, und zwar um einen um so größern Winkel, je vollständiger die El. der Säule durch ihn hindurchgeht. Poggendorf fand auf solche Weise, daß alle starren Körper, welche sonst auch als gute Leiter der El. bekannt sind, als Glied in die schließende Leitung gebracht, den Metallen selbst nachstanden. Wenn der verbindende Messingdraht (als Multiplicator angewandt), dessen er sich in allen diesen Versuchen bediente, für sich allein eine Abweichung von 45° bewirkt hatte, so betrug diese bei Zwischeneinbringung zwischen das eine Ende des verbindenden Messingdrahtes und die Kupferplatte des einfachen galvanischen Elements, das er zu diesen Versuchen gebrauchte,

von Bleiglanz in einer Schicht von	2 Linien	40°
— Magneteisenstein — — — — —		35°
— Graphit — — — —	6 —	30°
— Holzkohle — — — —	2 —	20°
— Schwefelkupfer — — — — —		15°
— Schwefelkies — — — — —		15°
— Graubraunsteinerz von Ilefeld — —		3°

Davy fand ferner durch seine Versuche, daß bei Voltaischen Batterieen das Leitungsvermögen eines Drahtes für El. nahe der Masse desselben direct proportional ist, bei gleichen Längen mithin der Größe seines Querschnitts oder seiner Dicke. Wenn z. B. eine gewisse Länge eines Platindrahts eine Batterie entlud, so reichte vom sechsfachen Gewicht Platindrahts dieselbe Länge hin, 6 solche Batterieen zu entladen; und der Erfolg war ganz einerlei, er mochte einen einzelnen

Draht von sechsfacher Masse nehmen, oder 6 kleine Drähte (von einfacher Masse), die einander berührten, wofern nur die Drähte kalt erhalten wurden. Dieses Resultat ist insofern höchst merkwürdig, als es beweist, daß wenigstens für die galvanisch erregte El. das Leitungsvermögen nicht im Verhältniß der Oberflächen steht. Noch deutlicher that dieses der folgende directe Versuch dar. Von zwei gleich langen und gleich viel wiegenden Platindrähten ließ Davy den einen flach walzen, so daß er eine 6 bis 7 mal größere Oberfläche erhielt, und verglich nun das Leitungsvermögen beider. In der Luft zeigte sich der abgeplattete Draht als der bessere Leiter aus dem Grunde, weil er sich in ihr schneller abkühlte; als aber beide Drähte von Wasser umgeben waren, ließ sich keine Verschiedenheit in ihrem Leitungsvermögen wahrnehmen.

Ob bei schon hinlänglich vorhandener Leitung gleichsam ein Uebermaß derselben günstig oder ungünstige für den Effect sey, darüber fehlt es an genauen Versuchen. Die Erhitzung der Drähte scheint Davy's Versuchen zufolge nahe in dem umgekehrten Verhältniß, als ihr Leitungsvermögen zu stehen; so, während das Silber die Temperatur des Oels nur um 4° erhöhte, vermehrte das Platin sie um 22°. Diese Beziehungen auf die Wärme bleiben die nämlichen, welche Intensität auch die El. hat. Eine sehr interessante Erscheinung zeigt sich, wenn man eine Kette aus aneinandergelötheten, abwechselnden Gliedern Platindraht und 4 bis 5 mal dickerem Silberdraht macht, und sie in den Schließungskreis einer mächtigen Voltaischen Batterie bringt. Es werden dann die Glieder von Silber nicht merklich warm, alle Glieder von Platin aber kommen heftig und gleichmäßig zum Glühen.

Die Flüssigkeiten sind zwar in außerordentlichem Grade schlechtere Leiter als die Metalle, doch zeigt sich auch bei Unterbrechung der Kette durch sie noch die Einwirkung auf die Magnetnadel, welche ihr Leitungsvermögen vergleichungsweise zu bestimmen dient, wenn man nur in dem Verhältnisse des geringern Leitungsvermögens die übrigen Umstände, welche auf Leitung Einfluß haben, namentlich die Oberfläche und Masse so einrichtet, daß durch angemessene Vergrößerung derselben dasselbe Quantum von Leitung resultirt, wie in dem Metalldrahte selbst. Hierauf gründete Pfaff seine Versuche, um das Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten theils in Bezug zu einander, theils in Vergleich mit den Metallen genauer zu prüfen. Zu diesem Behuf ließ er sich eine Zelle aus zwei großen, auf der einen Seite in Feuer vergoldeten, Messingplatten (damit sie von keiner Säure angegriffen würden) verfertigen, welche ihre beiden einander gegenüberstehenden Seitenwandungen bildeten, während die schmalen Seitenwände und der Boden aus Glasstreifen bestanden, die durch einen trefflichen

isolirenden Kitt unter sich und mit den Messingplatten verbunden waren, so daß die Zelle vollkommen dicht war. Diese Zelle gewährte den Vortheil, sie mit jeder beliebigen Flüssigkeit füllen zu können, durch welche der el. Strom, um von der einen Metallplatte zu der andern zu gelangen, gezwungen war, seinen Weg zu nehmen. Je nachdem er die Zelle mehr oder weniger hoch anfüllte, war die Berührungsfläche mit den Messingplatten größer oder geringer. Da die Größe der Leitung für einen und denselben Leiter im Verhältnisse mit der Größe des Durchschnittes der Schicht steht, welche den Strom durchleitet, so konnten die verschiedenen Höhen, bei welchen verschiedene Flüssigkeiten eine gleiche Leitung gewähren, erkennbar an der gleichen Wirkung auf die Magnetnadel, als den Leitungskräften der Flüssigkeiten umgekehrt proportional betrachtet werden. Die Messingplatten hatten übrigens 6 par. Zoll im Quadrat und der Zwischenraum zwischen beiden oder die Weite der Zelle betrug $7\frac{1}{2}$ Linie. Zur Vergleichung wählte er erst einen feinen Stahldraht, dessen Durchmesser $\frac{1}{180}$ Zoll betrug, und der statt der Flüssigkeit in jenen Zwischenraum zwischen beiden Messingplatten als Leiter eingeschoben wurde. Er fand so, daß, um dieselbe Wirkung auf die Magnetnadel zu erhalten, wenn der Strom durch jenen feinen Stahldraht, also durch einen Durchschnitt von $\frac{1}{41\frac{1}{2}\frac{1}{36}}$ Quadratzoll, hindurchgieng, eine concentrirte Salmiakauflösung eine Höhe von 1 Zoll haben müßte. Dies giebt für ein Rechteck von 6 Zoll Länge und 1 Zoll Höhe 6 Quadratzoll Durchschnitt, woraus dann folgen würde, daß Eisendraht ein etwa 247416 mal besserer Leiter seyn würde, als concentrirte Salmiakauflösung. Hier folgt das Verzeichniß mehrerer Flüssigkeiten, in der Ordnung, wie Pfaff ihr Leitungsvermögen vergleichungsweise fand.

1) Oxydulirte gesättigte salzsaure Zinnauflösung; 2) salpetersaures Queckſilberoxyd; 3) gesättigte salpetersaure Silberauflösung; 3a) Aetzammoniumflüssigkeit von 936 sp. G. 4) essigsaures Queckſilberoxydul; 5) schwefelsaures Mangan; 6) schwefelsaurer Zink; 7) schwefelsaures Kupfer; 8) schwefelsaures Eisenoxyd-Oxydul; 9) Salmiak; 10) salzsaures Queckſilberoxyd; 11) schwefelsaures Natron; 12) Bittersalz; 13) Alaun; 14) Schwefelkali; 15) Brechweinstein; 16) essigsaures Blei; 17) salpetersaurer Baryt; 18) Salpeter; 19) salzsaurer Kalk; 20) Pottasche; 21) Kochsalz [1]); 22) Wasser.

Diese Bestimmungen sind jedoch nur als ungefähre anzusehen, da die nicht zu umgehende Veränderlichkeit mehrerer in Betracht kommenden Umstände bei den Versuchen deren strenger Vergleichungsfähigkeit Eintrag thut.

1) Alle Salzauflösungen waren im Zustande der Sättigung bei mittlerer Temperatur angewandt.

Zusätze

über die Verbindung der Elektricitätslehre mit der Physiologie.

Die Elektricität zeigt nicht nur sehr merkwürdige Einwirkungen auf organische Körper, wozu schon die, von Biot erwähnten, Erscheinungen der Muskelzusammenziehung, die sie hervorzurufen vermag, Belege geben; sondern die organischen Körper scheinen selbst auch einen Circulationsapparat für das el. Fluidum zu enthalten, der in vielen Hinsichten dem Voltaischen Apparat sehr analog ist, und Biots Bemerkungen über die Vollkommenheit, welche die von der Natur gebildeten Vorrichtungen vor den unbewußt nachgebildeten des Menschen voraus haben, sehr zur Bestätigung dient.

Es finden einige Unterschiede in Hinsicht der Wirkungsart der gewöhnlichen und der galvanischen El. auf lebende Körper Statt, die sich indeß nicht auf eine specifische Verschiedenheit beider Agentien, als welche nicht Statt findet, sondern blos auf den Umstaud gründet, daß die galvanische El. bei einer verhältnißmäßig sehr schwachen Repulsivkraft in einem anhaltenden Strome durch die Theile geht, die man in die Voltaische Kette bringt. Sie wirkt daher anhaltender, eindringender und empfindlicher, als die blos in einzelnen Rucken oder Schlägen sich äußernde gewöhnliche El; und kann, eben vermöge ihrer Dauer, manche Erscheinungen hervorbringen, die sich durch letztre nicht erhalten lassen. Da sie sonach die umfassendern Wirkungen zeigt, in denen die der gewöhnlichen El., nur dem Grade oder der Dauer, nicht dem Wesen nach, mehr oder minder modificirt schon enthalten sind, so wird sich Nachstehendes hauptsächlich auf die galvanische El. beziehen.

Die Anwendung des Galvanismus auf den Körper kann auf verschiedne Weise geschehen; am einfachsten, wenn man nur die allgemeine Wirkung des Durchströmens durch den Körper kennen lernen will, so, daß man die Enden beider Schließungsdrähte mit den, mit Salzwasser befeuchteten, Händen faßt, oder daß man beide Hände

oder beide Füße in zwei verschiedne, mit Salzwasser gefüllte, Gefäße bringt, und in jedes einen Schließungsdraht von einem Pole der Säule leitet, wo dann das Fluidum genöthigt ist, seinen Weg durch den Körper zu nehmen, um von einem Pole der Säule zum andern zu gelangen. Soll die Einwirkung des Galvanismus speciell auf besondre Theile hingeleitet werden, so bedient man sich gewöhnlich der Armaturen; dies sind Metallplatten und Stäbe von verschiedner Form und Größe, welche sich genau an die Haut an verschiednen Theilen anlegen, und einen Stiel haben, der mit einem Häkchen versehen ist, in welches der Leitungsdraht eingehängt wird. Sie werden durch Binden oder Heftpflaster an die Theile des Körpers befestigt, und die Stellen wo sie liegen, mit Salzwasser befeuchtet, auch, wenn man eine recht starke Einwirkung bezweckt, vorher durch Blasenpflaster wund gemacht.

Bei der Armatur jedes Theils kommt es vorzüglich darauf an, daß man die ganze Nervenpartie dieses Theils zwischen die Kette bekomme, und die Pole da auflege, wo diese Nervenpartie am leichtesten vom Galvanismus erreicht werden kann; wobei anatomische Kenntniß die beste Führerin ist.

Die Empfindungen, welche das Durchströmen der galvanischen El. durch den Körper erregt, sind nun im Allgemeinen folgende: Man hat ein Gefühl von Schmerz an der Stelle, wo sie einwirkt, welches im Moment des Einströmens (bei der Schließung der galvanischen Kette) und des Aufhebens dieser Einströmung (bei der Trennung der Kette) besonders heftig, und mit einem Schlage und einer eigenthümlichen zuckenden Empfindung in den Theilen, durch welche der Strom geht, verbunden ist. Werden diese Stoßerschütterungen (bei abwechselnder Trennung und Schließung der Kette) öfters an einer Stelle angewendet, so wird die Stelle heiß und roth und viel mehr empfindlich; endlich entzündet sie sich sogar, es entsteht förmliche rosenartige Entzündung, auf welcher Bläschen, mit Feuchtigkeit gefüllt, aufschießen, oder auch eine Blase sich bildet, die mit stärkeren Absonderungen in der Umgebung vergesellschaftet ist. Bleibt die Durchströmung dauernd (wirkt die geschlossene Kette), so fehlt die, bei den Stoßerschütterungen vorhandne, heftigere Wirkung und nur ein dauerndes Erhoben- und Gereiztseyn der organischen Functionen ist vorhanden.

In diesen Erscheinungen überhaupt ist nun eine große Verschiedenheit der Stärke wahrzunehmen, je nachdem die Stärke und Dauer der Einwirkung der Elektricität und die relative Empfänglichkeit der Individuen verschieden sind. Es bildet sich da gleichsam eine Stufenreihe der Stärke (von dem schwächsten Prickeln, welches kaum bemerkt

wird, bis zum brennend heißen Schmerz, von der kaum fühlbaren Affection der Muskelfasern, bis zum heftigsten Schlag und den stärksten Krämpfen und Zuckungen u. s. w.) in den Graden der Elektricität, wo noch keine Ueberreizung erfolgt. Erscheint diese, so folgen Erscheinungen von Lähmung, Unempfindlichkeit, Erschlaffung der Muskeln u. s. w. Geht nun endlich gar die Heftigkeit der Wirkung über diesen Grad hinaus, so wird selbst die organische Structur verletzt, es werden Zerreißungen und mancherlei andre Zerstörungen, welchen Brand folgt, gebildet, oder es wird im Augenblick der Einwirkung, wie beim Blitzstral, das ganze Leben plötzlich vernichtet, wobei die schnelle Fäulniß, in welche solche Leichen übergehen, deutlich die Zersetzung beurkundet, welche durch die El. veranlaßt wurde.

Wichtiger noch, als die Unterschiede nach dem Grade der Wirkung sind diejenigen, welche nach der Verschiedenheit der wirkenden Pole Statt finden. Nicht so deutlich treten diese Verschiedenheiten hervor, wenn man nur Stoßerschütterungen wirken läßt; sie zeigen sich erst recht deutlich bei der dauernden Durchströmung; doch sieht man sie bei der Einwirkung der Voltaischen Säule auch klar bei den Stoßerschütterungen an den Stellen, wo die beiden Pole der Säule einwirken.

Der positive Pol afficirt immer vorherrschend das Muskel- und arterielle Gefäßsystem, der negative Pol am stärksten das Nervensystem und Venensystem. Am positiven Pol empfindet man den Schlag, stärkere und stürmischere Zuckungen, ein Gefühl von Zusammenschnürung und Contraction, zunehmendes Gefühl von Wärme und Beweglichkeit der Theile. Die Blutbewegung in den arteriellen Gefäßen wird dabei lebhafter, ein größerer Zufluß von Säften erfolgt, der Theil wird geröthet, und die schneller und kräftiger erfolgenden Muskelcontractionen können bei stärkerer Einwirkung leicht bis zum wirklichen Krampfe gesteigert werden. Der negative Pol retardirt die genannten Erscheinungen und erhöht dagegen die Venosität. Der Schmerz und die Empfindung ist an ihm heftiger und schneidender, das Organ dehnt sich mehr aus und schwillt auf, die Muskelthätigkeit nimmt ab, der Theil wird weniger beweglich.*) Ueberall sieht man das Wir-

*) Erläuternd wird in diesem Bezug folgender Versuch von Most (Ueber die großen Heilkräfte des Galvanismus) seyn. „Ich setzte meinen Körper der Kraft einer eben aufgebauten, aus 33 Doppelplatten bestehenden, Voltasäule aus, indem ich 20 Minuten lang die galvanischen Strömungen durch beide Arme gehen ließ. Der linke Arm, der mit dem negativen Pole in Verbindung stand, wurde steif und starrkrampfähnlich; die Beweglichkeit desselben ward beschwerlich, und das Gefühl darin ungefähr der steifen Mattigkeit ähnlich, die bei heftig entzündlichen Fiebern, welche einen Aderlaß erfordern,

kungsvermögen vorzüglich gesteigert am positiven Pol, die Receptivität erhoben am negativen Pol, während man gleichzeitig in den abgeschiednen Flüssigkeiten, mit welchen beide Pole in Berührung kommen, jene chemische Umänderung wahrnimmt, welche auch in der anorganischen Natur an den verschiednen Polen der Säule sich offenbart. Wendet man El. auf Stellen an, wo Blasenpflaster gelegen haben, so verwandelt der positive Pol die seröse Absonderung sehr bald in eine lymphatische, endlich gerinnt die Lymphe zu langen ziehbaren Fäden und die Stelle wird trocken und entzündet; am negativen Pol hingegen wird eine dunkel gefärbte, sehr gesättigte, scharfe und ätzende Flüssigkeit in ziemlicher Menge abgesondert, welche die Haut, wo sie herabfließt, excoriirt, und leicht bleibt an der Stelle eine länger dauernde Eiterung. Atonische Geschwülste werden härter, wenn sie sich nicht entzünden, unter dem positiven Pol; können aber durch Einwirkung des negativen Pols manchmal zur Zertheilung und Auflösung gebracht werden u. s. w.

Wirkt der Galvanismus in gehörigem Grade und in ununterbrochener Strömung auf das Gehirn, so folgt erhöhte Thätigkeit der geistigen Functionen jeder Art, behagliches Gefühl, Munterkeit, Aufgelegtseyn zum Denken u. s. w. Sehr leicht jedoch wird auch das Gehirn überreizt, zumal von Stoßerschütterungen, und dann folgen Schwindel, Kopfweh, Eingenommenheit und andre üble Zufälle. — Im Auge bewirkt der Einfluß des Galvanismus überhaupt schon eine hellere Erscheinung von Licht, wie Blitze, nebst größerer Zusammenziehung der Pupille. Wirkt der positive Pol auf das Auge, der negative an einen entfernten Theil, so entsteht im Momente des Einströmens ein lebhafter Blitz und Schlag; während der Dauer der Strömung hat man größere Hellung im Auge, wobei man die äußersten Gegenstände in einem blauen Lichte und stärkerer Beleuchtung, jedoch in weniger scharfen Umrissen, kleiner und schmäler erblickt. Bei umgekehrter Strömung tritt verminderte Hellung im Auge ein, man sieht die Gegenstände in rothem, gelbem oder orangefarbenem Lichte, zwar weniger beleuchtet, aber deutlicher, in schärfern Umrissen, grö-

---

Statt findet. Der rechte Arm, der mit dem positiven Pole in Berührung stand, war dagegen gelenkiger, empfindlicher und beweglicher geworden. Der Puls an meiner rechten Hand gieng schnell, etwas zusammengezogen und klein, ungefähr wie bei einer Hysterischen, der an der linken Hand zeigte sich dagegen stark, voll und kräftiger, ungefähr wie bei einem vollsaftigen, an Pneumonie leidenden, Menschen. Nachdem ich mich 15 Minuten lang von der Voltasäule entfernt hatte, waren alle Differenzen zwischen beiden Armen, sowohl rücksichtlich des Pulsschlagens als auch der Steifigkeit und Beweglichkeit der Arme verschwunden." — Einen ähnlichen Versuch beschreibt Ritter (Gilb. Annal. Bd. VII. S. 477 u. ff)

ßer und dicker.*) — Im Ohre bewirkt außer dem Schlage der positive Pol eine Abnahme des Gehörs, der negative hingegen eine Schärfung desselben, mit brausendem Geräusch im Ohre und stärkerer Absonderung des Ohrenschmalzes. — In der Nase bewirkt der positive Pol einen drückenden, kneipenden Schmerz, ohne Drang zum Niesen, mit verminderter Absonderung und entzündlicher Spannung und Reizung; der negative Pol hingegen einen höchst empfindlichen stechenden Schmerz mit einem unaufhörlichen Drange zum Niesen und stärkerer Absonderung eines flüssigen Schleims. — An der Zunge bewirkt der positive Pol außer dem Schlage ein Gefühl, als wenn man sie mit heißen Speisen verbrannt hätte; zugleich wird die Zunge beweglicher, aber der Geschmackssinn abgestumpft, und ein vorwiegend saurer Geschmack erzeugt; — der negative Pol hingegen bewirkt einen scharfen, alkalischen Geschmack, allmälige Unbeweglichkeit, ein Gefühl von Kälte und eine viel schärfere Empfänglichkeit des Geschmackssinnes. — Vom Rückenmark aus verbreiten sich die elektrischen Reizungen am stärksten auf die Muskeln, besonders wenn die Strömung längs seines Verlaufs in der Wirbelsäule geht. Wenn hingegen die umgekehrte Strömung Statt findet, so verbreitet sich die Reizung auch über die Nerven der Sinneswerkzeuge, so daß auf der Zunge der metallische Geschmack, im Auge der Blitz, u. s. w. empfunden wird. — Im Darmkanal entstehen lebhaftere Bewegungen, Kolikschmerzen, Diarrhoe, Verderbniß der Eßluß u. s. w.*)

Die gewöhnliche sowohl als die galvanische El. sind vielfältig als Heilmittel angepriesen worden; im Anfange ward ihr Lob in dieser Hinsicht übertrieben, jetzt scheinen sie zur Ungebühr zurückgesetzt zu werden. Weniger glückliche Erfolge hiengen vielleicht auch öfters davon ab, daß man die verschiednen Wirkungen der beiden Elektricitäten nicht gehörig unterschied. — Am wirksamsten scheinen diese Agentien zu seyn in Nervenkrankheiten verschiedener Art, vorzüglich Lähmungen und krampfhaften Krankheiten, Taubheit und schwarzem Staar, in allen Uebeln, die von stockenden Säften herrühren, kalten Geschwülsten, langwierigen Rheumatismen, chronischen Entzündungen, gegen

---

*) Dies bestätigen auch Most's Versuche a. a. O. S. 81. „Hält man den positiven Pol in der befeuchteten Hand und leitet man den negativen Pol durch einen Conductor an die Stirn, so bemerkt man, daß der Kreis, der durch die Reizung der Augennerven als Lichtschein mit röthlicher Farbe erscheint, größer ist, als der ähnliche blaue Lichtkreis, der durch die Berührung des positiven Pols entsteht.

**) Dieser Abschnitt über die Wirkungen des Galvanismus auf unsern Körper ist der Hauptsache nach aus Vogts Lehrb. der Pharmakodynamik 1.-Th. S. 223 u. ff. ausgezogen.

unterdrückte Ab = und Aussonderungen aller Art; endlich auch bei dem Scheintod.

Ich gehe jetzt zu einer Darstellung über, in wie fern die organischen Körper uns eine, allerdings unendlich vollkommenere und verwickeltere, und darum auch jetzt nur erst einigen allgemeinen Umständen nach klar zu Tage liegende, Wiederholung der Apparate zeigen, durch die wir künstlich die Erregung und den Kreislauf der El. zu bewirken vermögen. Einen solchen Apparat macht das Nervensystem aus. Bevor ich die Gründe angebe, die uns zur Aufstellung dieser Analogie berechtigen können, schicke ich eine kurze Uebersicht der Anordnung des Nervensystems, so weit sie zu gegenwärtigem Zweck hinreichend ist, voraus.

Das Hauptcentralorgan des Nervensystems ist das Gehirn, das in der Schädelhöhle liegt, und sich durch ein, im Hinterhaupt befindliches Loch in den Canal der Wirbelsäule als Rückenmark fortsetzt. In diesem Gehirn und Rückenmark ist die unmittelbare Anlagerung zweier verschiednen Massen an einander, einer weißen gefäßarmen, und einer röthlichgrauen, durch großen Reichthum von Pulsaderzweigen mit viel sauerstoffhaltigem Blut versehenen, merkwürdig, die zusammen das ganze Gehirn und Rückenmark ausmachen, und zwar so, daß im Gehirn die weiße Masse nach Innen, die graue nach Außen liegt, dagegen im Rückenmark das umgekehrte Verhältniß Statt hat. Durch das Mikroskop betrachtet, zeigen sich beide Massen aus Kügelchen gebildet, die in der weißen Masse linienförmig, in der grauen klumpenförmig geordnet sind; so daß wir, wenn wir in der Anlagerung jener Massen wirklich eine Aehnlichkeit mit der Anordnung eines Voltaischen Plattenpaars finden wollen, schon vorgreifend schließen können, daß sich die graue Masse als negativ, die weiße als positiv verhalten werde; da beide sich sonst gleich sind, nur die erstere einen größern Reichthum an Sauerstoff, der in Verbindungen immer als negativ auftritt, enthält, und zugleich die Gestaltungsverhältnisse zeigt, die die negative El. in Verhältniß zur positiven zu begleiten pflegen.

Vom Gehirn und Rückenmark laufen nun eine Menge Leiter aus, die Nerven, um sich in alle Theile hin zu begeben, welche mit dem Gehirn in Wechselwirkung treten sollen. Diese Nerven sind Stränge, bestehend aus vielen nebeneinanderliegenden, auch sich zum Theil verflechtenden, aber nicht in einander übermündenden, häutigen (durch das sogenannte Neurilem gebildeten) ganz feinen Canälchen, Nervenfasern genannt, in denen dieselbe, aus Kügelchen bestehende, Marksubstanz enthalten ist, welche wir im Gehirn und Rückenmark finden. Diese Canälchen treten zu größern Partien und diese zuletzt zum

ganzen Nerven zusammen, den eine gemeinschaftliche Scheide umschließt. Im weitern Verlauf des Nerven lösen sich einzelne Partieen von ihm ab, um sich als Zweige in die Organe zu verbreiten; und diese Zweige schicken wieder, immer feinere, Zweige aus; so daß sich der ganze Nerv baumförmig zu verästeln scheint, obwohl diese Verästelung eigentlich nur ein Divergiren der Nervenpartieen und Fasern von einander ist.

Den Linien von Nervenkügelchen, die die Markmasse in den Nervenfasern ausmachen, kommt keine Bewegung zu, da sie durch feinen Zellstoff in ihrer Lage erhalten werden; und an die Bewegung eines gröbern materiellen Stoffs in den Canälchen ist daher nicht zu denken.

Ueber die Art, wie sich die Nerven in den Organen endigen, ist man noch sehr im Dunkeln, obwohl es gerade hier wichtig wäre, genaue Kenntnisse zu besitzen. Es scheint, daß diese Endigung verschieden ist, je nach den Theilen, zu denen sich die Nerven begeben und den Verrichtungen, die sie in denselben vermitteln sollen. Häufig glaubte man, verleitet durch die Endigungsart der Nerven in dem Gesichts- und Gehörorgan, wo sie klar zu Tage liegt, allenthalben eine flächen- oder hautartige Endigung der Nerven annehmen zu müssen, doch hat man um so weniger Grund, die, in diesen Sinnesorganen Statt findende, Endigung zu verallgemeinern, da gerade durch die verschiedne Endigungsart der Nerven am leichtesten eine Erklärung der verschiednen Functionen derselben möglich wird, die man häufig durch den dunkeln Begriff einer specifischen Reizbarkeit darzustellen versucht hat.

Nach Prevost's und Dumas neuern Untersuchungen endigen sich die Nerven gar nicht eigentlich in den Muskeln, sondern die Nervenfasern beugen sich zuletzt um, und laufen wieder in den Nerven zurück, in welchem sie vom Gehirn ausgelaufen waren, so daß also rücklaufende und auslaufende Fasern in demselben Nerven beisammen liegen, und dieser daher nicht als ein frei ausgehender Leitungsdraht zu betrachten ist, sondern als einer, der von der Säule aus- und zu ihr zurückläuft. Um zu wissen, ob die Endigungen des Nerven im Centralorgan vielleicht an verschiedenen Massen Statt haben (wenigstens entspringen die meisten daselbst mit doppelter Wurzel,) um so die Analogie der Nerven, die zu den Muskeln laufen, als Verbindungsdrähte zu vollenden, sind die anatomischen Untersuchungen noch nicht hinlänglich weit gediehen.

Außer dem Gehirn und Rückenmark, welche ein großes zusammenhängendes Centralorgan für das Nervensystem bilden, giebt es deren noch viele kleinere, im Körper verstreute, die Ganglien,

die sich nach der obigen Theorie als eben so viel kleinere, vereinzelte, Voltaische Plattenpaare betrachten lassen, indem auch hier jene doppelte Masse sichtbar ist. Sie sind nicht nur unter sich durch leitende Nerven zu einem Gesammtsystem vereinigt, sondern schicken auch zu Gehirn und Rückenmarknerven vielfache Verbindungszweige.

Allerdings fehlt noch sehr viel, daß wir die ganze Anordnung des Nervensystems, wovon hier nur der alleroberflächlichste Abriß gegeben ist, schon als die eines elektromotorischen Apparats zu deuten vermöchten. Sowohl Anatomie als Physiologie bieten zu viel Lücken dar, um eine solche durchgeführte Deutung schon jetzt für möglich zu halten. Doch entdecken wir theils in der Anordnung nirgends Umstände, welche jener untergelegten Beziehung derselben widersprächen, theils wird sie durch anderweite Gründe hinlänglich gerechtfertigt, welche zeigen, daß das Wirksame im Nervensystem mit der El. aufs Vollkommenste übereinstimme, wenn sie uns auch über die Erregungsart und den Kreislauf derselben in diesem Systeme noch viel Aufklärung zu wünschen übrig lassen.

Zuvörderst ist zu bemerken, daß die Meinung, das in den Nerven Wirksame sey El., schon oft aufgestellt, und von vielen mit mehr oder weniger Bestimmtheit durchgeführt worden ist. Nach Kühn (Gesch. der med. El. 2. Th. S. 49) scheint Hales der erste Urheber dieser Meinung zu seyn. Anstatt indeß, daß man hätte erwarten sollen, sie sey in neuern Zeiten immer mehr ausgebildet worden, hat man sie, wenigstens im Schulvortrage, wieder zurückgesetzt, aus Gründen, die mir leicht zu heben scheinen. Doch erkennen auch viele Neuere die Identität des Nervenfluidums und des el. Fluidums geradezu an, die andern geben wenigstens zu, daß es nach ähnlichen Gesetzen wirke.

Der Haupteinwurf, den man gegen die Identität des, in den Nerven Geleiteten, und der El. gemacht hat, ist folgender: Man sagte: Der ganze Nerv ist feucht und ist von Feuchtigkeit umgeben; da nun Feuchtigkeit für die El. ein Leiter ist, so könnte die El. in den Nerven nicht auf dieselben beschränkt bleiben, sondern müßte sich im ganzen Verlauf des Nervens von ihm aus weiter verbreiten, und in die benachbarten Theile überfließen. Ferner sagte man: die Nervenleitung wird unterbrochen, wenn man den Nerven an einer Stelle durch ein feuchtes Band zusammenschnürt; wäre aber die Nervenleitung mit der Leitung für die El. gleichbedeutend, so könnte durch ein feuchtes Band keine Unterbrechung derselben erfolgen.

Diese Einwürfe sind zu heben durch eine Ansicht, die meines Wissens Carus (Vers. einer Darstell. des Nervens. S. 58) zuerst an-

gedeutet hat;*) daß nämlich die neurilematischen Hüllen des Nervenmarks isolirend wirken.

Wenn man hindern will, daß eine Flüssigkeit nach allen Seiten zerfließe, so schließt man sie in Gefäße ein; will man ihr einen bestimmten Weg anweisen, durch den sie fließen soll, so bildet man Canäle, durch deren Wände sie zusammengehalten wird; so ist es der Fall bei den Gefäßen des menschlichen Körpers, welche materielle Fluida zu führen bestimmt sind. Es giebt nun auch Mittel, das el. Fluidum zusammenzuhalten, und Canäle zu bilden, durch die es fließen soll, indem man nämlich die Canäle von Isolatoren bildet. So verbreitet sich z. B. an jedem Conductor der Elektrisirmaschine die El. in einem Canal, den die, den Conductor umgebende, isolirende Luft bildet, welche das Entweichen der El. hindert, die wirklich entweicht, wenn man die Luft wegpumpt. Will man mehrere Leitungsdrähte der Voltaischen Säule aneinanderlegen und mit einander verbinden, so aber, daß jeder seine El. für sich leite, so umwickele man jeden für sich mit Seide, die somit eine isolirende Hülle um ihn bilde; man wird auch hier in den einzelnen seidnen Hüllen eben so viel, die El. zusammenhaltende, Gefäßwände haben. Als solche Bündel aneinandergelegter, und mit Seide umwickelter, Drähte lassen sich denn auch die aneinandergelegten Nervenfasern betrachten. Was dort die Metalldrähte sind, das sind in den Nerven die Reihen Markkügelchen; diese geben das eigentlich Leitende ab; was dort die isolirenden Hüllen sind, das sind hier die neurilematischen Canäle, von denen das Mark umschlossen wird. Es thut nichts zur Sache, daß die einzelnen neurilematischen Canäle von feuchtem Dunst umgeben sind; die Isolation der einzelnen Marklinien kann darum um nichts weniger vollkommen seyn, wofern nur das Neurilem selbst undurchdringlich für die Feuchtigkeit ist, wie Injektionen wirklich lehren; denn denkt man sich z. B. ein Bündel an einander gelegter Drähte, deren jeder aber mit einer isolirenden Hülle von Siegellack überzogen ist, so wird dann die Isolation des einen Drahts vom andern immer noch vollkommen Statt finden, wenn selbst das ganze Bündel in Wasser gelegt wird, weil die Hüllen von Siegellack, welche jeden Draht unmittelbar umgeben, hindern, daß eine Mittheilung der El. von einem zum andern Statt finde. — Daß trockne thierische Theile an

---

*) Auch Carus nimmt jedoch nicht die El. als das Agens des Nervensystems an; sondern spricht nur von Isolirung einer Nervenkraft überhaupt durch das Neurilem.

sich Nichtleiter sind, finde ich wenigstens angezeigt; und wenn auch der neurilematische Canal von beiden Seiten feucht ist, so unterbricht doch seine, an sich trockne, Wand selbst die Verbindung von der, auf seiner Innenseite befindlichen, Schicht Feuchtigkeit mit der, an seiner äußern befindlichen, und dies um so mehr, da die, in den Nerven geleitete, El. wegen ihrer Erregung nach galvanischer Art, nur eine sehr schwache Repulsivkraft besitzen kann, für welche auch sonst unvollkommene Isolatoren vollkommen isolirend seyn können. Sehr gut läßt sich nun auch hienach die Unterbrechung der Nervenleitung durch Unterbindung der Nerven erklären. Durch das umgelegte Band wird das leitende Mark nach beiden Seiten von der Unterbindungsstelle seitwärts gedrückt; so daß nun keine Continuität desselben mehr Statt findet; vielmehr müssen an der Unterbindungsstelle die gegenüberstehenden Wandungen der neurilematischen Canäle auf einander gepreßt werden, eben wie bei Unterbindung der Blutgefäße die Wände dieser, und somit die Leitung intercipiren.

Man könnte fragen, warum nicht in jedem Nerven das ganze Mark schlechthin von einem neurilematischen Canale umschlossen sey, vielmehr der Nerv aus einem ganzen Bündel von einander isolirter Markfäden und Stränge bestehe. Eine solche Isolation der einzelnen Marklinien in demselben Nerven kann aber in mehr, als einem Bezug von Wichtigkeit seyn. Ein Nerv verbreitet sich oft zu sehr verschiednen Theilen; nun soll aber mittelst des Nervens vom Centralorgan aus nicht immer auf alle diese Theile zugleich gewirkt, z. B. etwa nur der eine oder andre der Muskeln, zu denen sich derselbe Nerv verbreitet, in Bewegung gesetzt werden, während die andern ruhig bleiben; dies wäre nun nicht wohl möglich, wenn die einzelnen Nervenstränge, welche zu den verschiednen Theilen gehn, nicht in ihrer Wirkung von einander isolirt wären. Eben so werden durch diese Anordnung gesonderte Empfindungen (welche durch Rückleitung von den Organen nach dem Gehirn entstehen) für einzelne Theile möglich gemacht.

Ist dieser Einwurf beseitigt, den man der Gleichartigkeit der Nervenleitung und der el. Leitung entgegengesetzt hat, so zeigen sich dieselben in allen übrigen Stücken identisch; namentlich giebt die blitzschnelle Leitung, die für das Nervenfluidum wie für das elektrische, Statt hat, einen wichtigen Gleichungspunct ab. Im Augenblicke, wo der Wille auf das Centralende des Nervens wirkt, (das Einströmen des el. Fluidum darin bewirkt) entsteht auch schon Bewegung im Muskel, in dem der Nerv endigt; umgekehrt, im Augenblick, wo ein Reiz auf das peri-

pherische Ende wirkt, entsteht auch Empfindung im Centralende. Wir finden auch, daß El. und Galvanismus, auf unsern Körper angewandt, sich vorzugsweise die Nerven zu Leitern wählen, daher man oft die Empfindung längs derselben sich fortpflanzen fühlt; nach dem Gesetze, daß die El. den besten Leitern folgt. Die Nerven scheinen mithin vermöge ihrer Organisation zu Leitern der El. schon ursprünglich eingerichtet zu seyn. Oefters hat man selbst bei Krankheiten, namentlich solchen, die das Gehirn betrafen, Empfindungen verspürt, ganz denen von el. Schlägen ähnlich, die von freien Stücken eintreten.

Wir bemerken ferner, daß El. u. Galvanismus auf unsern Körper angewandt, den Nervenwirkungen ganz analoge Wirkungen darin hervorrufen; so lassen sich die Sinnesempfindungen dadurch reproduciren, so die Muskelbewegungen, so auch vermehrte Absonderungen hervorrufen. Umgekehrt sehen wir; daß durch den Galvanismus dieselben physischen Processe in der Außenwelt veranlaßt werden, als in dem Organismus durch die Nervenwirkungen. Namentlich hängt die Wärmeentwicklung vom Nerveneinfluß ab, daher ein Glied, dessen Nerv geschwunden, oder durchschnitten ist, kalt wird; und alle chemischen Processe, Scheidungen von Stoffen aus dem Blute, und Zusammensetzung neuer daraus, die sogenannten Secretionen, werden ebenfalls durch den Nerveneinfluß vermittelt; daher hört die Absonderung auf, wenn man den, zu einem Absonderungsorgan gehenden Nerven durchschneidet, oder wird wenigstens so beschaffen, daß der Stoff, den das Blut mit sich führt, (das Serum desselben) unverändert ausgeschwitzt wird. Was nun aber ganz vorzüglich bemerkenswerth und als directer Beweis anzusehen scheint, ist, daß, wenn nach durchschnittenem Nerven eines Absonderungsorgans die Absonderung in demselben ganz innormal geworden war, sie wieder zur vorigen Norm zurückkehrt, wenn man die getrennten Nervenenden, nicht etwa unmittelbar mit einander vereinigte, sondern durch galvanische Leiter so verband, daß ein el. Strom von einem Ende zum andern lief, oder auch blos wenn man das untere Ende in einen galvanischen Kreis brachte. Ein ähnlicher Ersatz der Nervenwirkungen durch Galvanismus ist in Bezug auf den Kreislauf und die Verdauung beobachtet worden. *)

---

*) Versuche in diesem Bezug findet man in Krimers physiolog. Untersuchungen. (S. 22 Versuch 9. S. 32 V. 14. S. 36. V. 16. S. 38. V. 18. S. 149. V. 8. S. 165. V. 23. u. s. w.) und Wilson Philipps Untersuchungen über die Gesetze der Functionen des Lebens aus dem Englischen übersetzt von Sontheimer (S. 183 u. ff. V. 71, 72, 73, 74).

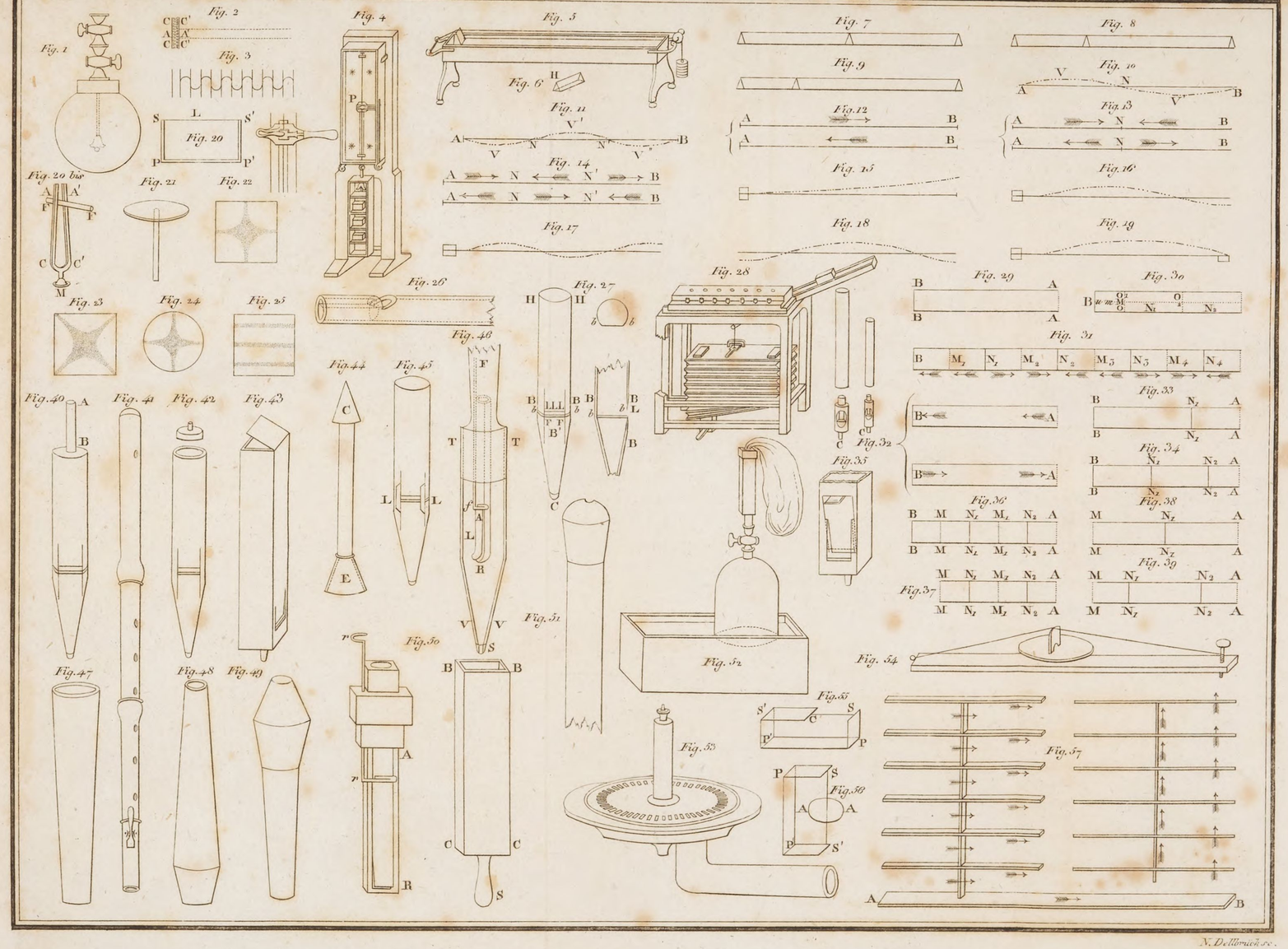
Oefters hat man Lichterscheinungen an Menschen und Thieren beobachtet, die den elektrischen nicht unähnlich schienen. Namentlich dürfte für die, die an den sogenannten thierischen Magnetismus glauben, der Umstand nicht unwichtig scheinen, daß nach der einstimmigen Versicherung aller Magnetisirten die Nerven des Magnetiseurs ihnen leuchtend erschienen, und namentlich beobachteten dieselben, daß Strahlenbüschel von den, vorzugsweise nervenreichen, Fingerspitzen beim Magnetisiren ausgingen. Ich führe diesen und den folgenden Grund nur als Hülfsbeweise an, da sie den eigentlichen Physiker weniger befriedigen dürften. Selbst der gesetzmäßige Gang der Natur scheint uns in den Nerven Behälter und Leiter für die Imponderabilien anzudeuten; die festen Stoffe, die flüssigen, die luftförmigen der Außenwelt werden jede von eignen Canälen in unserm Körper aufgenommen und umgetrieben, und in eignen Behältern verarbeitet; nun machen die Imponderabilien einen sehr wichtigen und wesentlichen Bestandtheil der Außenwelt aus, mit denen der Organismus, wie mit den grob materiellen Stoffen allenthalben in Berührung ist, und für diese bietet sich nicht nur das Nervensystem als ein sehr passender, sondern auch außer diesem kein andrer Circulationsapparat dar; und durch diesen ist erst die Wechselwirkung mit der Außenwelt wirklich abgeschlossen.

Bei der Anordnung des Nervensystems ist noch insbesondre darauf aufmerksam zu machen, daß in allen Centralorganen, von welchen Leitung ausgeht, eine doppelte Masse sich zeigt, während die Nerven, als bloße Leiter, blos einfaches Mark haben.

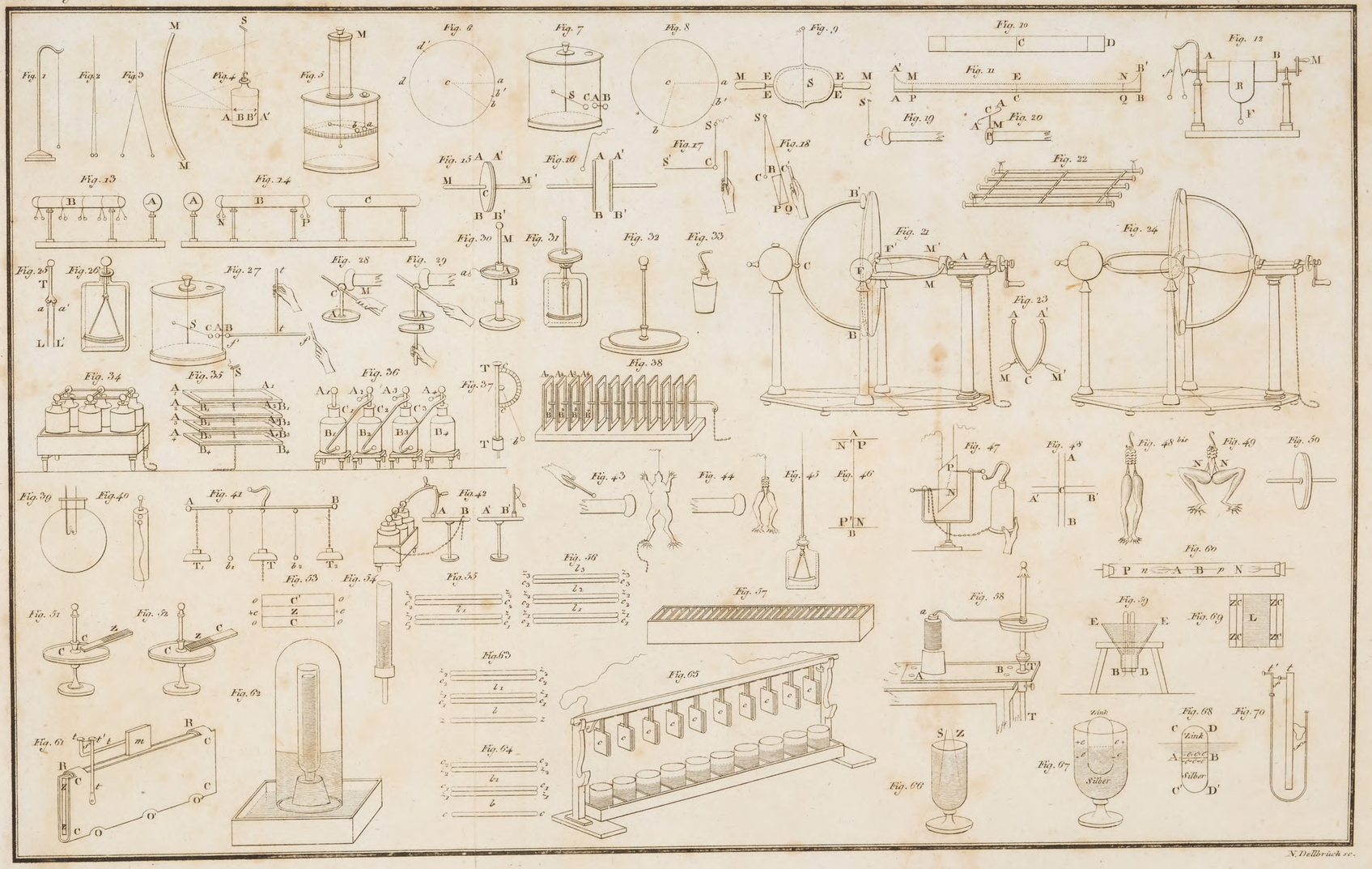
Wie die Nerven Empfindungen zum Gehirn leiten können, ist so schwer nicht zu begreifen. Jeder Körper, mit dem sie in Berührung kommen, ist ein heterogener, und muß daher bei seiner Berührung El. rege machen, die sie überleiten. Die geringste Heterogeneität muß hier schon ausreichen, da die Erfahrung zeigt, was für ausnehmend empfindliche Elektroskope die, mit Nerven begabten, Organe selbst noch nach dem Tode, wie viel mehr im Leben sind. Auch die Verschiedenheit der Empfindungen ist wenigstens nicht unerklärlich. Ein rauher Körper z. B. muß anders gefühlt werden, als ein glatter, denn bei letzterm trifft die Berührung mehrere Nervenpuncte, oder trifft sie in gleichförmigem Grade.

Von jeher ist endlich als ein wichtiger Beweis für die elektrische Beschaffenheit der Nerven die Entwicklung freier El. in gewissen Fischen, und der entsprechende Bau der elektrischen Organe in denselben angeführt worden; indem dieselben einen außerordentlichen Nervenreichthum enthalten. Die bekanntesten Thiere in dieser Hinsicht sind der Zitteraal oder Surinamsche Aal (Gymnotus electricus)

und der Zitterrochen oder Krampffisch (Raja torpedo). Beide geben bei Berührung heftige el. Schläge, wie von einer Elektrisirmaschine, die einen Arm auf einige Zeit zu lähmen vermögen. Der Schlag dieser Thiere wird durch alle Stoffe, welche elektrische Leiter sind, mitgetheilt, geht aber nicht durch Nichtleiter; bei größern Thieren soll er selbst einen Funken hervorbringen, wenn sich in der metallischen Kette eine Unterbrechung befindet. Die Schläge scheinen übrigens von dem Willen und den Leidenschaften der Thiere abzuhängen, warum also nicht auch bei uns die Muskelcontractionen unter Voraussetzung daß es Wirkungen der El. sind? — Das el. Organ des Zitterrochens besteht aus einer Menge senkrechter, meist pyramidenförmiger, sechsseitiger; häutiger Zellen, die um die Kiemen in den Halsseiten und zum Theil an den Rückenseiten unter der Haut liegen, durch die sie durchschimmern. Jede solche Zelle hat horizontale Scheidewände, welche Zwischenräume lassen, die mit gallertartiger Masse ausgefüllt, und sehr reichlich mit Fäden des herumschweifenden Nervenpaars und mit Blutgefäßen durchzogen sind. In der That scheinen die Zellen eine Aehnlichkeit mit Voltaischen Säulchen zu haben. Das el. Organ des Zitteraals ist etwas einfacher gebaut, aber auch mit sehr viel Nerven versorgt. Außerdem hat man noch el. Eigenschaften beobachtet, doch wenige untersucht am elektrischen Stachelbauch (Tetrodon electricus), dem elektrischen Riemfisch (trichiurus electricus), endlich dem Zitterwels (Silurus electricus).



N. Dellbruch sc.



N. Dellbrück sc.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Biot, Jean-Baptiste,

Lehrbuch der Experimental-Physik oder Erfahrungs-Naturlehre durch Beschluß der Commission für den öffentlichen Unterricht vom 22. Febr. 1817 als Lehrbuch in den öffentlichen Lehranstalten Frankreichs eingeführt
Bd.: 2

Leipzig (1824)

Phys.g. 40 o-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10130782-7